

In: Köhnelein, Walter (Hrsg.): Vielperspektivisches Denken im Sachunterricht. Bad Heilbrunn: Klinkhardt 1999 (= Forschungen zur Didaktik des Sachunterrichts. Bd. 3), S. 125-191.

Konstruktivistisch orientierte Lehr-Lernprozeßforschung im naturwissenschaftlich-technischen Bereich des Sachunterrichts

Kornelia Möller, Westfälische Wilhelms-Universität Münster

1. Riesenschlange oder Hut

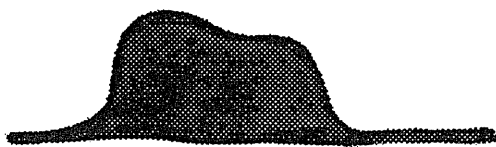
„Als ich sechs Jahre alt war, sah ich einmal in einem Buch über den Urwald, das „Erlebte Geschichten“ hieß, ein prächtiges Bild. Es stellte eine Riesenschlange dar, wie sie ein Wildtier verschlang.

In dem Buch hieß es: „Die Boas verschlingen ihre Beute als Ganzes, ohne sie zu zerbeißen. Daraufhin können sie sich nicht mehr rühren und schlafen sechs Monate, um zu verdauen.“

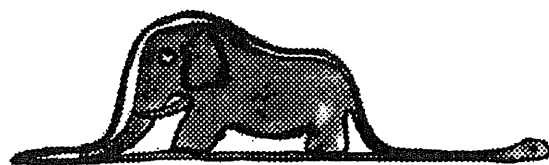
Ich habe damals viel über die Abenteuer des Dschungels nachgedacht, und ich vollendete mit einem Farbstift meine erste Zeichnung. Meine Zeichnung Nr. 1. So sah sie aus:

Ich habe den großen Leuten mein Meisterwerk gezeigt und sie gefragt, ob ihnen meine Zeichnung nicht Angst mache. Sie haben mir geantwortet: „Warum sollen wir vor einem Hut Angst haben?“

Meine Zeichnung stellte aber keinen Hut dar. Sie stellte eine Riesenschlange dar, die einen Elefanten verdaut. Ich habe dann das Innere der Boa gezeichnet, um es den großen Leuten deutlich zu machen. Sie brauchen ja immer Erklärungen. Hier meine Zeichnung Nr.2:



Zeichnung Nr.1



Zeichnung Nr. 2

Die großen Leute haben mir geraten, mit den Zeichnungen von offenen und geschlossenen Riesenschlangen aufzuhören... Der Mißerfolg meiner Zeichnungen Nr.1 und Nr.2 hatte mir den Mut genommen. Die großen Leute verstehen nie etwas von selbst, und für die Kinder ist es zu anstrengend, ihnen immer und immer wieder erklären zu müssen.“

Mit diesem Beginn von Saint-Exupéry's 'Kleinem Prinzen' leitete eine meiner Studierenden¹ ihre konstruktivistisch orientierte, empirische Staatsarbeit zur Didaktik des Sachunterrichts ein, um das zentrale Anliegen ihrer Untersuchung zu Lehr-Lernprozessen zu verdeutlichen.

In Saint-Exupéry's Geschichte lassen sich wesentliche Intentionen und Grundannahmen einer konstruktivistisch orientierten Didaktik finden:

- Kinder sehen die Welt mit ihren Augen, nicht mit unseren. Ihre Erfahrungen und Erlebnisse beeinflussen ihre Deutungen. Wir Erwachsene und Lehrer haben vielfach andere Sichtweisen und Deutungen, auch ein anderes Wissen. Unsere Deutungen erschweren nicht selten das Verständnis für das, was in den Köpfen der Kinder vor sich geht.
- Bedeutungen werden aktiv vom Deutenden, auf der Basis vorhandener Erfahrungen, konstruiert. Riesenschlange oder Hut – beide Deutungen erscheinen auf dem Hintergrund des jeweiligen Erfahrungshorizontes als sinnvoll.
- Wir Erwachsene sollten Kindern nicht den Mut nehmen, sondern Mut machen, die Welt mit eigenen Augen zu sehen, zu deuten und zu ergründen.
- Wenn wir Kinder unterrichten wollen, müssen wir ihre Sichtweisen erforschen. Wir müssen vor allem berücksichtigen, welche Erfahrungen Kinder mitbringen und wie sie diese in ihren Deutungen einsetzen.
- Der 'kleine Prinz' gab, entmutigt durch die nicht verstehenden Erwachsenen, „eine großartige Laufbahn, die eines Malers nämlich, bereits im Alter von sechs Jahren“ auf. Wieviele „Laufbahnen“ haben unsere Schüler, angesichts erfahrener Entmutigungen, schon aufgegeben?

¹ Sabine Hellgermann

2. Zur Situation der elementaren naturwissenschaftlich-technischen Bildung im Sachunterricht der Grundschule

Mit Recht könnte man einwenden, die oben genannten Annahmen und Forderungen seien nichts Neues, ein vernünftiger Unterricht habe diese schon immer berücksichtigt.

Für den naturwissenschaftlich-technischen Lernbereich zumindest scheint aber diese Forderung noch nicht hinreichend eingelöst: Untersuchungen in der Naturwissenschaftsdidaktik zeigen, daß der Erfolg naturwissenschaftlichen Unterrichts selbst in der Oberstufe dürftig ist. Schulisches Wissen ist häufig träges Wissen; dieses kann sich nur schwer gegen Alltagsdeutungen und Vorerfahrungen behaupten und wird schnell wieder vergessen. In der Schule erfahrene Entmutigungen, negative Selbstkonzepte, mangelndes Interesse und niedrige Motivation vor allem bei Schülerinnen sind durch eine Reihe von Untersuchungen eindrucksvoll belegt.

Wie sieht es in der Grundschule aus? Ende der sechziger und Anfang der siebziger Jahre gab es innerhalb der Sachunterrichtsdidaktik eine Reihe von Ansätzen, die das Ziel verfolgten, bereits in der Grundschule naturwissenschaftliche Verfahren und Strukturen zu erarbeiten; sie lösten heftige Auseinandersetzungen um das Prinzip der Wissenschaftsorientierung aus. Die Kritik bezog sich hauptsächlich auf folgende Punkte: Vernachlässigung der kindlichen Vorerfahrungen, Interessen und Denkweisen, mangelnde Eigentätigkeit der Kinder, mangelndes Verstehen.

Schon bald entwickelten sich als Gegenbewegung sog. kindorientierte Sachunterrichtskonzepte. Insgesamt spitzte sich die Diskussion um die Entwicklung des Sachunterrichts in dieser Zeit auf die Alternativen „Wissenschafts-“ oder „Kindorientierung“ zu. Die Forderung, beide Anliegen, Kind- und Wissenschaftsorientierung, miteinander zu verknüpfen, wurde zwar aufgestellt, z.B. von der Kultusministerkonferenz 1980, aber längst nicht in allen der in den achtziger und neunziger Jahren entstandenen Richtlinien und Lehrplänen berücksichtigt.

Fast alle Bundesländer haben inzwischen den Anteil naturwissenschaftlich orientierter Themen zugunsten lebensweltlich- und heimatorientierter Themen stark eingeschränkt. Aufgrund einer Analyse der derzeit gültigen Lehrpläne konstatiert Einsiedler (1998b), daß physikalische, chemische und technische Themen eine geringere Rolle spielen als Themen aus dem sozialen Lernfeld (S. 14). Auch die Untersuchung von Strunck u.a. (1998) weist aufgrund einer detaillierten Analyse der Lehrpläne nach, daß die Anteile der „harten“ Naturwissenschaften im Vergleich zu den Lehrplänen der siebziger Jahre deutlich zurückgegangen sind (S. 77). Eigene Untersuchungen zum

Ist-Stand der technikbezogenen Bildung im Rahmen des Sachunterrichts (Möller 1996) und Analysen von Klassenbüchern (Breitschuh 1997, Strunck u.a. 1998) geben Anlaß zu der Vermutung, daß die Realisierung von Unterricht im Vorfeld von Physik, Technik und Chemie noch weit unter den Lehrplanvorgaben liegt. Ausgesprochen auffällig ist die Abhängigkeit der Realisierung naturwissenschaftlich-technischer Themen von der Lehrperson; nur ein geringer Teil der Lehrkräfte in der Grundschule fühlt sich den Anforderungen eines naturwissenschaftlich-technischen Unterrichts gewachsen. Dies gilt in besonderem Maße für die weiblichen Lehrkräfte, die den überwiegenden Anteil der Lehrkräfte in der Grundschule stellen (Möller 1996).

Inzwischen mehren sich die Stimmen, wonach die Bundesrepublik Deutschland nicht nur im Bereich der weiterführenden Schulen, sondern auch im Bereich der elementaren naturwissenschaftlichen Bildung ein Bildungsdefizit aufweist. Sicherlich haben die, obschon umstrittenen, Ergebnisse der TIMS-Studie (Baumert, Lehmann 1997) die Diskussion um die Grundlegung einer naturwissenschaftlichen Bildung wieder angefacht. In dieser Situation ist es wichtig, ein unreflektiertes Zurückpendeln auf Positionen der siebziger Jahre zu vermeiden.

Im Zusammenhang mit einer Neubestimmung des Bildungsauftrags der Grundschule sind die Ziele eines naturwissenschaftsbezogenen Sachunterrichts neu zu formulieren. Eine systematische Wissensvermittlung i.S. einer Vorleistung für die später einsetzenden naturwissenschaftlichen Fächer kann nicht Aufgabe der Grundschule sein. Konsensfähiger scheint das Konzept eines prozeß- und phänomenbezogenen, problemorientierten Unterrichts, der die Entwicklung von Einstellungen, Haltungen und Denkfähigkeiten, insbesondere von Methoden des Denkens zum Ziel hat. In Bezug auf den Erwerb von Wissen geht es eher um das gründliche Erarbeiten und Verstehen einzelner Frage- und Problemstellungen als um eine breit angelegte, instruktive Vermittlung von Wissen. Frühe, positive Lernerfahrungen sollen dazu beitragen, eine interessierte Grundhaltung anzubahnen, die zu weiterführenden Auseinandersetzungen mit diesem Lernfeld ermutigt und Lernbarrieren möglichst gar nicht erst entstehen läßt.

Wir sehen im einzelnen folgende Ziele eines naturwissenschaftsbezogenen Sachunterrichts:

- den Erwerb von kategorialen, d.h. erschließendem Wissen i. S. des verstehenden Lernens
- die Vorbereitung von Methoden naturwissenschaftlichen Denkens, z.B. das Aufstellen von Vermutungen, das Überprüfen von Vermutungen durch Versuche, das Vergleichen und Schlußfolgern

- die Entwicklung allgemeiner Haltungen und Einstellungen, wie die Bereitschaft zum kritischen Überprüfen erster Deutungen und Meinungen
- die Entwicklung von Motivation und Interesse, Phänomene aus Natur (und Technik) unter naturwissenschaftlichen Fragestellungen zu betrachten
- das Schaffen von Lernsituationen, die Kompetenzerfahrungen und das Erleben der Fruchtbarkeit eigenen Denkens ermöglichen.

Innerhalb der gegenwärtigen Sachunterrichtsdidaktik liegen Ansätze z. B. von Kircher, Klewitz, Köhnlein, Soostmeyer, Spreckelsen, Thiel, Wiesner und Möller vor, die eine kind-gemäße Wissenschaftsorientierung im naturwissenschaftlichen Bereich beabsichtigen. Insgesamt sind aber die Fragen, wie Kinder denken, welche Präkonzepte sie mitbringen, zu welchen Abstraktionen sie schon fähig sind, unter welchen Bedingungen sie sich produktiv mit Fragen aus der Natur auseinandersetzen können, ob sie in der Lage sind, zumindest Vorformen naturwissenschaftlichen Denkens zu erlernen, noch sehr wenig untersucht. Wichtige Ergebnisse liefern die im anglo-amerikanischen Raum schon lange etablierte Präkonzept- und Conceptual-Change-Forschung und neuere Untersuchungen zum Wissenserwerb.

Das Ziel, ein auf Verstehen ausgerichtetes und auf Selbsttätigkeit gründendes Lernen im naturwissenschaftlich und technisch orientierten Sachunterricht zu ermöglichen, ist nicht leicht zu realisieren.

Eine Vielzahl der heute vorliegenden Unterrichtsvorschläge zu diesem Bereich enthält zwar eine Fülle von Anregungen zum Entdeckenden Lernen, insbesondere für die Organisation von Schülerversuchen, Freiarbeit und zum Stationsunterricht. Zweifel sind jedoch angebracht, wenn es um den eigenständigen Aufbau von Denkprozessen geht, da im Schulalltag noch allzu häufig das instruktive Lehren überwiegt. Verstehen kann sich aber aus der Perspektive konstruktivistisch orientierter Lern- und Entwicklungstheorien nur ereignen, wenn Schüler aktiv und selbsttätig Denkstrukturen aufbauen.

3. Konstruktivistisch orientierte Lehr-Lernprozeßforschung

3.1 Moderat konstruktivistisch orientierte Positionen

In Anlehnung an Gerstenmaier und Mandl (1995) lassen sich entsprechend der disziplinären Herkunft folgende Varianten konstruktivistischer Ansätze unterscheiden: eine erkenntnistheoretische, philosophische Variante (radikal konstruktivistische Position), konstruktivistische Ansätze in der kognitiven

Psychologie und der Soziologie wie auch konstruktivistische Ansätze in der Pädagogik und Didaktik.

An radikal konstruktivistischen Positionen wurde aus unterschiedlichen Perspektiven Kritik geübt (Gerstenmaier und Mandl 1995, Reinmann-Rothmeier und Mandl 1994, Duit 1996, Dubs 1995 u.v.a.). Weitgehende Einigkeit besteht darin, daß die radikal konstruktivistische Position wegen ihrer erkenntnistheoretischen Prämissen als Paradigma für Lehr-Lernprozeßforschung nicht geeignet ist.

Aus der Perspektive der kognitiven Psychologie wie auch der Didaktik scheint sich dagegen eine inklusive konstruktivistische Sichtweise zu etablieren (Duit 1997, Möller 1997), die auch als pragmatischer oder moderater Konstruktivismus bezeichnet wird. Allerdings darf diese versöhnlich klingende Bezeichnung nicht über Differenzierungen innerhalb dieser Position hinwegtäuschen.

Auf eine Darstellung entwicklungspsychologischer, kognitionstheoretischer wie auch soziologischer Ansätze zum pragmatischen Konstruktivismus soll an dieser Stelle verzichtet werden (vgl. dazu Edelstein und Hoppe-Graff 1993, Gerstenmaier und Mandl 1995, Duit 1996, Duit 1997, Möller 1997).

Zum Grundgedanken: Die Auffassung, Lernen sei Konstruktion von Wissen ist nicht neu; sie geht auf Dewey zurück und findet sich ebenso in Piagets Äquilibrationstheorie. Entscheidend für den Konstruktionsprozeß ist das Vorwissen des Lernenden: Lernen besteht aus dieser Sicht aus einer Veränderung bestehender Strukturen; diese Veränderung muß vom Lernenden selbst vorgenommen werden, sie kann nicht vermittelt werden. Auf diese Weise werden, durch Erweiterung, Differenzierung oder Umstrukturierung bestehender Strukturen neue Wissensstrukturen aufgebaut, untereinander und mit bestehenden Strukturen verknüpft sowie zur Anwendung gebracht.

Uneinheitlich sehen Vertreter des moderaten Konstruktivismus das Kriterium der Selbstbestimmtheit und Selbstreguliertheit in Lernprozessen. Während Gerstenmaier und Mandl (1995) das Kriterium des selbstgesteuerten Lernenden explizit formulieren und die Rolle des Lehrers auf das Mitgestalten von Lernprozessen und Unterstützen von Lernprozessen beschränken, zweifeln Dubs u.a. aus didaktischer Perspektive die Effektivität fast ausschließlich selbstgesteuerten Lernens an, weil die kognitiven Erträge allzu häufig äußerst bescheiden bleiben (Dubs 1995).

Für Dubs zeichnet sich der moderat konstruktivistische Ansatz dadurch aus, daß die Lehrkraft, falls notwendig, in komplexen Lehr-Lernarrangements Impulse gibt, um kognitiv anspruchsvolle Lernprozesse anzuregen; wobei selbstgesteuertes Lernen als Ziel von Unterricht – und in bestimmten Situationen auch als Methode – durchaus seinen Eigenwert behält.

Auch Bliss (1996) betont innerhalb eines moderat konstruktivistischen Ansatzes die Notwendigkeit von Steuerungs- und Strukturierungshilfen durch den Lehrer. Bliss plädiert dafür, Vygotskys Theorie der „Zone der nächsten Entwicklung“ und die Idee des „Scaffolding“, der Hilfestellung, mit dem konstruktivistischen Ansatz zu verknüpfen. Der Erwachsene hätte danach die Aufgabe, die Hilfestellungen anzubieten, mit denen das Kind die Zone der nächsten Entwicklung erreichen kann.

3.2 Konstruktivistische Sichtweisen in der Grundschuldidaktik

Anders als in der angloamerikanischen Literatur ist die Diskussion um konstruktivistische Sichtweisen in der Pädagogik, insbesondere in der Grundschulpädagogik und -didaktik, bei uns erst angelaufen. Vorreiterfunktion hatte die Naturwissenschaftsdidaktik, die – ausgehend von empirisch erhobenen Lerndefiziten – das Paradigma des Conceptual Change, das heißt des Konzeptwechsels, zum Paradigma empirischer Lehr-Lernforschung machte.

Die allgemeine Pädagogik, insbesondere auch die Grundschulpädagogik, hat dagegen konstruktivistische Sichtweisen erst in jüngster Zeit vermehrt aufgegriffen (Einsiedler 1995, 1997, 1998a; Richter 1998; Brügelmann 1996, 1998; Lankes 1997; Fölling-Albers 1997; Götzfried 1997; Max 1997).

Vereinzelt aber beginnt man zu bemerken, daß konstruktivistische Ansätze einen möglichen theoretischen Rahmen für eine Reihe von Schulreformen herzugeben scheinen; dies gilt z.B. für Formen offenen Unterrichts, für Freiarbeit und Wochenplan, für Gruppen- und Projektunterricht (so z.B. bei Duit 1996; Brügelmann 1998) und für den Schriftspracherwerb (Brügelmann 1998; Richter 1998). Deutlich wird dieser Gedanke von Wolff (1997, S. 108) innerhalb der Fremdsprachendidaktik formuliert: Das kognitivistisch-konstruktivistische Denkmodell „ist die theoretische Grundlage des autonomen Lernens, obwohl den Vertretern der Lernerautonomie die Erklärungsmächtigkeit dieser Theorie für ihren eigenen Ansatz ... noch kaum bekannt ist“.

Vielleicht ist es daher nur noch eine Frage der Zeit, bis konstruktivistische Sichtweisen sich als theoretische Grundlage für offenen Unterricht fest in der Grundschulpädagogik etablieren? Ist vielleicht sogar – mit Gerstenmaier und Mandl (1995) in Anlehnung an Luhmann formuliert – eine eher epidemische als epistemische Ausbreitung dieser Sichtweise zu befürchten?

In der Einschätzung der Relevanz konstruktivistischer Sichtweisen für die Pädagogik scheiden sich die Geister. So sieht Weinert (1996, S. 10) in einer puristischen Verwendung konstruktivistischer Grundgedanken eine mögliche Sackgasse für künftige Forschung; er befürchtet, daß sich die neuen

Lerntheorien in einem sich selbst verstärkenden Prozeß befinden, der die neue Perspektive gegen Widerlegung widerständig macht. Für Weinert ist die konstruktivistische Sichtweise eine Antwort auf die Unzufriedenheit mit instruktiven, direktiven, fremdbestimmten, lehrerzentrierten und an Fachsystematik statt Lebensnähe orientierten Lernformen. Weinert folgert daraus, daß konstruktivistische Sichtweisen zu Recht komplementäre, reformorientierte Lernformen begründen, allerdings ohne den Anspruch auf Verabsolutierung.

Zur Gegenposition: Für Gerstenmaier und Mandl (1995, S. 883) stellen gemäßigt konstruktivistische Sichtweisen „den vielleicht vielversprechendsten Rahmen für eine Analyse und Förderung von Wissenserwerbsprozessen in den unterschiedlichsten sozialen Kontexten“ dar. Auch Einsiedler (1998a) spricht sich – in einem etwas anderen Zusammenhang – dafür aus, Erkenntnisse der konstruktivistischen Psychologie einer umfassenden Theorie von Unterricht zugrunde zulegen, wobei diese Theorie sowohl Ansätze offenen Lernens wie auch Ansätze zur Steuerung des Unterrichts durch den Lehrer umfassen sollte.

Folgende Frage zeichnet sich ab: Ist die konstruktivistische Sichtweise ein geeignetes Paradigma für Untersuchungen von Lehr-Lernprozessen oder beschränkt sie sich auf die Begründung komplementärer Lernformen?

3.3 Merkmale moderat konstruktivistisch orientierter Lernumgebungen

In Anlehnung an Reinmann-Rothmeier und Mandl (1995), Dubs (1995), Reusser und Reusser-Weyeneth (1994) und Bliss (1996) lassen sich folgende Merkmale für einen moderat konstruktivistisch orientierten Unterricht formulieren:

Konstruktives Lernen:

Die Lernumgebung bietet dem Lernenden die Möglichkeit, eigene Wissenskonstruktionen und Interpretationen vorzunehmen und dabei eigene Lernwege zu gehen. Die Adäquatheit der individuellen Konstruktionen soll möglichst durch eine intensive Sachauseinandersetzung und in der Diskussion mit Mitschülern geprüft werden; der Lehrende verzichtet soweit wie möglich auf Instruktion. Sollte diese unumgänglich sein, so muß diese für die Schüler individuell nachvollziehbar sein und auch nachkonstruiert werden.

Situatives Lernen:

Lernen als situativer Prozeß setzt das Lernen in relevanten, bedeutungsvollen Kontexten unter Einbezug realer Anwendungsmöglichkeiten und möglichst authentischer Aufgaben voraus.

Aktives Lernen:

Lernen als aktiver Konstruktionsprozeß ist nicht vorstellbar ohne Eigentätigkeit und ohne eine emotionale Beteiligung des Lernenden. Konstruktivistisch orientierter Unterricht muß deshalb Handlungsmöglichkeiten bieten und Motivation und Interesse der Lernenden berücksichtigen und fördern. Dies kann in der Grundschule erreicht werden durch problemhaltige Aufgaben, forschendes Experimentieren, selbsttätiges Handeln, offene Fragestellungen und Aufgreifen von Fragen der Schüler, Anknüpfen an Interessen der Schüler, durch einen angemessenen Schwierigkeitsgrad, Möglichkeiten zur Selbst- und Mitbestimmung, durch das Erfahren von Kompetenz usw.

Soziales und kooperatives Lernen:

Lernen setzt nicht nur individuelle Konstruktion, sondern aus sozial-konstruktivistischer Sicht das interaktive Aushandeln von Meinungen und Deutungen in der Lerngruppe voraus. Die Schüler sollten ermutigt werden, eigene Vermutungen zu formulieren, sie zu begründen, gegenüber den Mitschülern zu vertreten, argumentative Dialoge zu führen, die Meinungen der Mitschüler kritisch zu prüfen usw. Zu diesem Punkt gehört auch die gelenkte Interaktion mit einem erfahrenen Partner, dem Lehrer.

Selbstgesteuertes und unterstütztes Lernen:

Im Verständnis des moderaten Konstruktivismus ist Selbstbestimmtheit des Lernens eine langfristige Zielsetzung von Unterricht. Es muß berücksichtigt werden, daß die Voraussetzungen für selbstbestimmtes Lernen beim Lernenden u.U. erst geschaffen werden müssen. Steuerungs- und Strukturierungshilfen des Lehrers können notwendig sein, um einen konstruktiven und aktiven Aufbau von Schemata überhaupt zu ermöglichen.

Selbstbestimmtheit äußert sich auch im folgenden: Der Unterricht ermöglicht individuelle Lernwege, er erlaubt Fehler und Umwege, gibt fertige Lösungen nicht vor, fördert die Diskussion von Fehlern und Widersprüchen und sorgt dafür, daß diese in Lerngruppen erörtert und abgewogen werden.

Auf diese Weise hilft der Unterricht, neues Wissen im Kontext von Vorwissen und eigener Erfahrung als persönliches Wissen zu verankern und damit auch zu verstehen.

Moderat konstruktivistisch orientierte Lehr-Lernsituationen lassen sich nach diesem Verständnis zusammenfassend kennzeichnen durch

- die Schaffung anregender Lernumgebungen mit der Möglichkeit zum selbständigen Lernen (Möglichkeiten zum Ausprobieren, Experimentieren, Erfahrungs- und Handlungslernen, Lernen vor Ort...)

- die situative Einbindung der Fragen, Aufgaben und Problemstellungen
- die Förderung der Kommunikation und Kooperation unter den Schülern
- das Einräumen von Zeit für individuelle Lernwege, für Fehler und Umwege
- die Wertschätzung und Duldung individueller Denkwege und Lösungen
- metakognitive Anteile, insbesondere die Reflexion des eigenen Lernweges
- begründete Methodenvielfalt (Stationsunterricht, Freiarbeit, Experimentiersituationen, Problemgespräche, Ergebnissicherung)
- den Einsatz von allgemeinen und individuellen Hilfen bei Bedarf
- eine didaktische Strukturierung der Lernsituationen mit einer begründeten Abfolge von offeneren und strukturierteren Phasen
- eine Berücksichtigung sach- und innenbedingter Lernschwierigkeiten bei der Auswahl der Zugänge und der Strukturierungshilfen.

Neben kognitiven Zielsetzungen verfolgt ein solcher Unterricht soziale, affektive und persönlichkeitsbildende Ziele. Er beschränkt sich nicht auf sog. selbstbestimmte Unterrichtsformen, wie z.B. auf offenen Unterricht und Freiarbeit, sondern umfaßt auch Formen des gelenkt-entdeckenden Lernens, des problemorientierten Unterrichtsgesprächs wie auch lehrergesteuerte Unterrichtsformen, soweit diese Formen einen individuellen und aktiven Wissenserwerb ermöglichen und fördern.

Entscheidend ist die Aktivität des Lernenden im Lernprozeß, die subjektive geistige Verarbeitung, die Integration des neu aufgebauten Wissens in bestehendes Wissen und nicht zuletzt die Anwendung und Überprüfung des neu konzipierten Wissens. Der Lehrende hat die Aufgabe, diesen individuellen Konstruktionsprozeß durch geeignete Maßnahmen zu ermöglichen und zu fördern. Eine Instruktion fertiger Konzepte führt aus konstruktivistischer Sicht zu trägem, nicht verstandenem Wissen.

4. Lehr-Lernprozeßuntersuchungen im Vorfeld der Physik²

4.1 Fragestellung

Anknüpfend an diese Forschungsrichtung und unter Berücksichtigung oben entwickelter sachunterrichtsdidaktischer und grundschulpädagogischer

² Zum Begriff des Lernens im Vorfeld der Physik vgl. Möller 1992.

Zielsetzungen sind wir in mehreren Untersuchungen folgender Fragestellung nachgegangen:

Sind Grundschul Kinder bereit und in der Lage, sich weitgehend selbsttätig und verstehend in moderat konstruktivistisch orientierten Lehr-Lernsituationen mit Naturphänomenen auseinanderzusetzen, adäquatere Konzepte für ihre Deutung zu entwickeln und diese Konzepte fruchtbar anzuwenden?

Die Untersuchungen bezogen sich auf folgende Unterrichtsthemen: „Wie kommt es, daß ein Flugzeug fliegt?“, „Wie kommt es, daß ein eisernes Schiff schwimmt?“ und „Luftdruck und Vakuum entdecken“.

An dieser Stelle sollen Anlage und Ergebnis der Untersuchung zum Thema „Wie kommt es, daß ein eisernes Schiff schwimmt?“ dargestellt werden.

Unterrichtsansätze, die aus der Zeit der sog. „Wissenschaftsorientierung“ in den siebziger Jahren stammen (z.B. Leicht 1973; Wiederrecht 1973; Bahl, Fahrenberger und Schopf 1975), verfolgten das Ziel, auch schon in der Grundschule das Archimedische Gesetz anhand quantifizierender Versuche herzuleiten (Überlaufversuche, Wiegen der übergelaufenen Wassermenge, Vergleich mit dem „leichter“ gewordenen Gegenstand usw.). In dieser Form ist die Erklärung und Herleitung des Auftriebs geläufig – zum Verstehen der Auftriebskraft scheint sie allerdings nicht zu führen. Befragt man Studierende, wie es kommt, daß ein Schiff schwimmt, so erhält man den verschwommenen Hinweis, „das hat was mit Archimedes zu tun“; die Formel zur Berechnung der Auftriebskraft wurde vergessen, an eine Herleitung ist nicht zu denken. Das Vergessen von Formeln ist nichts Überraschendes; nachdenklicher muß stimmen, wenn in einem Kreis von vierzig Studierenden kein Teilnehmer auf das „Drücken“ des Wassers als Ursache der Auftriebskraft verweist!

Wir folgern daraus, daß die Herleitung der Beziehung zwischen Auftriebskraft und Wasserverdrängung von dem Wesentlichen ablenkt, von der der Gewichtskraft des Schiffes entgegengesetzten, nach oben gerichteten Auftriebskraft des Wassers, die durch den hydrostatischen Druck des Wassers zustandekommt.

Neuere Unterrichtsansätze für den Grundschulbereich verzichten in der Regel auf eine Quantifizierung der Auftriebskraft; statt dessen legen sie Schülern durch das handlungsintensive Sortieren von Vollkörpern aus verschiedenen Materialien in die Kategorien „schwimmt“ und „schwimmt nicht“ die Materialabhängigkeit in Bezug auf Vollkörper nahe (Holz schwimmt, Eisen sinkt usw.).

In einem zweiten Schritt formen die Schüler aus Knetkugeln Boote, deren Ladefähigkeit sie (mit Münzen o.ä.) erproben und vergleichen. Sie stellen fest: je höher der Rand ist, oder je größer das Schiff bzw. sein Hohlraum ist, um so mehr kann das Boot laden. Die Eingangsfrage scheint damit beantwortet. Aber: Welche Lernprozesse haben hier stattgefunden? Sehen wir hier die Ziele eines naturwissenschaftsbezogenen Sachunterrichts im dargelegten Sinne erfüllt?

4.2 Vorhandene Untersuchungen zum Thema „Schwimmen und Sinken“

Das o. g. Thema ist schon seit den dreißiger Jahren Gegenstand einer Reihe von Untersuchungen zu Präkonzepten, Lehr-Lernprozessen und Postkonzepten.³

So untersuchte bereits Banholzer (1936) in ihrer Dissertation die Präkonzepte von 212 Schülern im Alter von 6 bis 15 Jahren zur Frage des Schwimmens von Schiffen. Sie teilt die Antworten der Schüler in verschiedene Stufen ein, die sie bestimmten Altersstufen zuordnet. Auch wenn eine solche Zuordnung aus heutiger Sicht problematisch erscheint, behalten die von Banholzer gefundenen Erklärungstypen ihre Aussagekraft. Banholzer unterscheidet folgende Erklärungen der 6 - 12jährigen Kinder.

- Manche Schüler bemerken das Problem überhaupt nicht, sie entdecken keinen Widerspruch zwischen dem sinkenden Eisenstück und dem schwimmenden Eisenschiff.
- Manche Schüler stellen einfach fest, daß das Schiff schwimmt, weil es so gebaut ist.
- Die Kinder sehen die Ursache für das Schwimmen des Schiffes im Material des Schiffes: „Das Schiff schwimmt, weil es aus Holz gemacht ist. Dann ist es mit Teer bestrichen, daß nirgends Wasser herein kann“. (Banholzer 1936, S. 14)
- Die Form des Schiffes wird herangezogen: Das Schiff sinkt nicht, weil es einen Rand hat.
- Der Motor des Schiffes oder der Wind sorgen dafür, daß das Schiff schwimmt. Auch die Lufttheorie (Schiffe schwimmen, weil sie mit Luft gefüllt sind) ordnet Banholzer (nicht ganz unproblematisch) diesem Typ zu.
- Das Wasser spielt eine Rolle: es stützt oder trägt das Schiff; das Schiff ist stärker als das Wasser (intuitiver Kräftevergleich!).

³ Ich beschränke mich bei der hier folgenden Übersicht auf grundschulbezogene Forschungen im Rahmen didaktischer Ansätze.

Von Thiel (1990, Erstabdruck 1968) liegt ein mit Hilfe von Tonbandaufnahmen protokollierter Unterrichtsverlauf von vier Unterrichtsstunden und einem nach drei Monaten durchgeführten Kontrollgespräch vor; der Unterricht wurde mit einer freiwilligen Jungengruppe des vierten Schuljahres an der Wanneschule in Tübingen durchgeführt. Konzeptionell orientierte sich Thiel am genetisch-sokratisch-exemplarischen Unterricht von Martin Wagenschein. Trotz einer Reihe von Besonderheiten, die eine Übertragung der Ergebnisse erschweren (vgl. hierzu Thiel 1990, S. 190 ff.), enthalten die Protokolle überzeugende Beispiele für einen vom Lehrer sparsam unterstützten Lernprozeß, indem die zu Wort kommenden Kinder in selbständigen Gedankengängen dem physikalischen Sachverhalt erstaunlich nahe kommen. Leider liegen keine veröffentlichten Replikationen dieses Unterrichtsversuches vor.

In wörtlichen Auszügen dokumentierte Karnick (1968) einen einstündigen (!) Unterricht in einer dritten Klasse. Nach der Äußerung von Präkonzepten im Klassengespräch verformten die Schüler eine Knetkugel und eine Blechplatte so, daß sie schwimmen konnten. Zum Abschluß der Stunde wurde die Tafelanschrift „Gefäße können schwimmen, wenn sie nicht zu schwer sind. Ein Schiff ist ein Gefäß, deshalb kann es schwimmen“ erarbeitet. Eine nach zwei Monaten durchgeführte Überprüfung der Postkonzepte ergab, daß 16 der 33 Schüler sofort „die richtige Antwort“ (Karnick 1968, S. 26) geben konnten. Ob die Schüler hierbei lediglich einen auswendig gelernten Merksatz wiedergaben, läßt sich aufgrund der Untersuchung nicht beantworten. Ohne Karnicks verdienstvolle Bemühungen um eine Ausweitung heimatkundlicher Themen durch physikalische Fragestellungen zu schmälern, bereitet der sachliche Gehalt des Ergebnissatzes Unbehagen. Eine Beurteilung von Lernprozessen ist aufgrund der Untersuchung kaum möglich.

Klewitz (1985, Wiederabdruck 1991) befragte Schüler der ersten Klasse in klinischen Interviews vor und nach einem fächerübergreifenden Lern- und Spielkurs, in dem die Schüler Schwimmversuche anstellten und mit Materialien wie Schwimmhilfen, Tauchgeräten, Spielzeugtieren und Luftmatratzen experimentierten. Neben Kindern, die keine Fortschritte im Erklärungsverhalten machten, weist Klewitz an Einzelbeispielen nach, daß die in der Anfangsbefragung benutzte Gewichtstheorie (alles Leichte schwimmt, alles Schwere sinkt) durch die Materialtheorie (Holz schwimmt, Eisen sinkt – bei Vollkörpern), durch die Lufttheorie (im Holz ist Luft, deshalb schwimmt es) und intuitive Dichtekonzepte (der Stein, der ist ja schwerer als das Wasser) ersetzt werden. Klewitz stellt abschließend fest, daß Fortschritte in den Erklärungsmustern zu beobachten sind, läßt aber offen, worauf diese zurückzuführen sein könnten (möglicherweise auf die erste Befragung, auf Erfahrungen im Schwimmbad oder die Gespräche mit der Klassenlehrerin über die Erlebnisse und Erfahrungen).

In einer weiteren Untersuchung (1989) führte Klewitz mit 32 Schülern einer vierten Klasse Interviews durch, nachdem ein dreistündiger Unterricht nach didaktischen Vorgaben von Bahl, Fahrenberger und Schopf (1975) stattgefunden hatte, der allerdings selbst nicht beobachtet werden konnte. Durch Analysen der didaktischen Strukturierung des Unterrichts und der von den Schülern im Einzelinterview geäußerten Vorstellungen sollte untersucht werden, inwieweit der Unterricht die Schülervorstellungen beeinflusst hat. Klewitz mußte feststellen, daß über die Hälfte der Schüler keine eindeutige Beeinflussung durch Unterricht erkennen ließen. Nur ein kleiner Teil der Schüler konnte Merksätze korrekt wiedergeben und auch anwenden. Klewitz führt dieses schlechte Ergebnis auf die mangelnde Berücksichtigung kindlicher Denkstrukturen und Vorverständnisse in dem zugrundeliegenden didaktischen Ansatz des Unterrichts zurück (Klewitz 1989).

Janke (1995) konnte – in Anknüpfung an Untersuchungen von Carey (1991) – in einer Studie nachweisen, daß die von Piaget und Inhelder (1977) formulierte Annahme altersabhängiger, qualitativ unterschiedlicher logischer Stufen in der Begriffsentwicklung zum Archimedisches Gesetz nicht mehr haltbar sind, da bei Erwachsenen gleiche Fehlurteile wie bei Kindern festzustellen seien und jüngere Kinder im Grundschulalter unter der Voraussetzung einer situativen Einbindung der Aufgabenstellung über ein weit größeres implizites Verständnis des Dichtebegriffs verfügen als vorhandene Untersuchungen nahelegen. Auch ergab die Untersuchung, daß zwischen einem optimalen Entwicklungsniveau (ein durch Herstellung eines situativen Kontextes und mit Unterstützung von außen erreichtes Niveau) und einem funktionalen (ein ohne Einbettung in einen hilfreichen Kontext erreichtes Niveau) Entwicklungsniveau unterschieden werden muß. Zwar sind die Befunde von Janke nicht direkt auf Lehr-Lernsituationen bezogen; durch die Anlage der Untersuchung werden aber die situative Einbindung der Aufgabenstellung und die Unterstützung von außen als wichtiger Einflußfaktor nachgewiesen.

Aufgrund einer Unterrichtserprobung entwickelten Kircher und Rückel (1992) ein Unterrichtskonzept, das in einem ersten Schritt aus der Artikulation von Schülervorstellungen und deren experimenteller Überprüfung bestand, in einem zweiten Schritt in einem gelenkt-entdeckenden Unterrichtsverfahren über qualitative Versuche bis hin zur Messung des verdrängten Wassers und entsprechender Aussagen fortschritt. Die Autoren kommen aufgrund der Unterrichtsbeobachtung, der Videoauswertung und der Nachtestergebnisse zu dem Schluß, „daß dieser thematische Bereich in der Grundschule sinnvoll unterrichtet werden kann.“

Ganter (1995) legt ein vierzehnschrittiges Unterrichtskonzept zum Archimedischen Prinzip vor, das an die Präkonzepte der Kinder anknüpfen soll. Leider macht Ganter keine näheren Angaben zu dem von ihm erprobten Unterricht, so daß sein Konzept aus empirischer Sicht zu wenig fundiert erscheint.

Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, daß

- die Präkonzepte zum Schwimmen und Sinken im Grundschulalter zu einem großen Teil Fehlvorstellungen beinhalten
- ein intuitives Wissen vom Dichtebegriff auch im Grundschulalter schon vorhanden sein kann
- in jeder Altersstufe, selbst bei Erwachsenen, mit einer Vielzahl verschiedener Präkonzepte gerechnet werden muß.

Ein systematischer Vergleich von individuellen Präkonzepten und Postkonzepten nach einer erfolgten Lehr-Lernsituation findet in den Untersuchungen nicht statt. Diese beziehen sich entweder auf Präkonzepterhebungen (Banholzer, Janke), auf die Dokumentation von Lehr-Lernprozessen in Gruppen mit anschließenden individuellen Postkonzepterhebungen (Karnick, Thiel, Kircher und Rückel) oder auf Prä- und Postkonzepterhebungen ohne Lehr-Lernprozeßdokumentation (Klewitz 1985).

Die zu Beginn des Kapitels aufgeworfene Frage, ob Grundschul Kinder bereit und in der Lage sind, adäquatere Konzepte zur Deutung des Phänomens „ein Eisenschiff schwimmt“ weitgehend selbsttätig und i.S. verstehenden Lernens zu entwickeln, läßt sich aufgrund dieser Untersuchungen nicht beantworten. Zwar zeigt die Untersuchung von Thiel eine mögliche Unterrichtsgestaltung mit Merkmalen eines moderat konstruktivistisch orientierten Unterrichts, leider fehlt aber eine Dokumentation individueller Lernverläufe. Insgesamt weisen die Untersuchungen darauf hin, daß Präkonzepte und wissenschaftliche Konzepte weit auseinanderliegen, daß es sich also um ein relativ schwieriges Lernfeld handelt.

4.3 Theoretische Grundlagen der eigenen Untersuchung

4.3.1 Präkonzepte: Begriff – Forschungslage – Eigenschaften

Der Begriff „Konzept“ wird in unterschiedlichen Kontexten verwendet. Wir beziehen uns auf einen von Kron (1993) in Anlehnung an Atkinson (1990) definierten Konzeptbegriff, nach dem Konzepte gedankliche Werkzeuge sind, „mit deren Hilfe wir in der Welt sinnfällig handeln können.“ (Kron 1993, S. 321)

Der Begriff „Präkonzept“ soll diejenigen Konzepte bezeichnen, die vor Beginn des jeweiligen Unterrichts bereits vorhanden sind. Mit den häufig synonym verwendeten Begriffen Schülervorstellungen, Alltagsvorstellungen, Vorerfahrungen, Fehlvorstellungen, Mißkonzepte, Children's science und alternative frameworks sind jeweils eigene Theorieansätze verbunden, die sich nicht nur in Nuancen unterscheiden (vgl. hierzu Duit 1992; Wodzinski 1996).

Durch Unterricht veränderte Präkonzepte bezeichnen wir in Anlehnung an Einsiedler (1996) als Postkonzepte. Die Begriffe Prä- und Postkonzepte beziehen sich also auf den Zustand der individuellen Konzepte vor Beginn und nach einer Lehr-Lernsituation; allerdings können Postkonzepte in einem erneuten Lernprozeß erneut als Präkonzepte wirksam werden.

Die Berücksichtigung von Präkonzepten wird nicht erst in neueren lerntheoretischen Ansätzen für wichtig erachtet. Schon Aristoteles, Comenius, Diesterweg, Ausubel und Wagenschein forderten, Vorstellungen und Vorwissen der Schüler bei der Gestaltung von Lehr-Lernsituationen zu beachten. Auch die Erforschung von Präkonzepten hat eine lange Tradition (vgl. z.B. Piaget, Banholzer, Wagenschein). Systematisch und weltweit begann die Erforschung in den siebziger Jahren (vgl. Pfundt, Duit 1994); die Arbeiten bezogen sich zunächst und überwiegend auf den naturwissenschaftlichen Bereich. Inzwischen scheinen isolierte Präkonzepterhebungen zugunsten von Untersuchungen zur Veränderung von Präkonzepten durch Unterricht abgelöst zu werden (Duit 1997).

Präkonzepte entstehen durch primäre Alltagserfahrungen, durch alltags-sprachliche Formulierungen (wie z.B. der Strom wird verbraucht), durch allgemeine Denkschemata (wie z.B. das Täter-Tat- oder das Geben-Nehmen-Schema) und durch Informationen und Meinungen, die Einfluß auf das Individuum haben (durch Schule, Elternhaus, Medien, Freunde...) (vgl. Jung 1986; Wodzinski 1996).

Präkonzepte lassen sich über Merkmale und Eigenschaften differenzierter beschreiben:

Zu unterscheiden sind Präkonzepte in Form von deep structures, tief verankerten stabilen Überzeugungen, die gegen Veränderung oft sehr resistent sind (Duit 1993; Wodzinski 1996), und current constructions, die auch als Ad-hoc-Konstruktionen (Duit 1993), spontane oder aktuelle Konstruktionen bezeichnet werden. Spontane Konstruktionen können auch, bedingt durch Besonderheiten der Erhebungssituation, als Verlegenheitskonstruktionen im Verlauf von Gesprächen, insbesondere in Befragungen gebildet werden.

Tief verwurzelte Konzepte haben häufig eine hohe Glaubwürdigkeit. Konzepte, die der Schüler zwar weiß oder auch teilweise versteht, nicht aber wirklich glaubt, vermögen es nicht, solche deep structures abzulösen.

Die Verankerung von Konzepten und ihr Überzeugungsgehalt können so stark sein, daß sie die Wahrnehmung bestimmen. Vorliegende Untersuchungen bestätigen, daß Schüler z.B. bei Experimenten das sehen, was sie sehen „wollen“ („confirmation bias“, vgl. Mandl, Gruber und Renkl 1993).

Auch die Kontextabhängigkeit von Präkonzepten kann dazu führen, daß ein Experiment nicht in dem Zusammenhang gedeutet wird, wie der Lehrer es vermutet oder beabsichtigt (Wodzinski 1996). So können vom Lehrer eingesetzte Phänomene, Experimente oder Beispiele, die von den Schülern einem anderen Kontext zugeordnet werden, das Verstehen u.U. sogar behindern, statt zu erleichtern.

Die Identifizierung von Präkonzepten wird dadurch erschwert, daß nur ein Teil der Präkonzepte in Form eines begrifflich-symbolischen Wissens als deklaratives Wissen zur Verfügung steht. Prozedurale Präkonzepte sind als Handlungswissen gespeichert, sie äußern sich in Handlungen. Intuitive Konzepte lassen sich nur implizit aus dem Kontext von sprachlichen Äußerungen und Handlungen erschließen; da sie nicht explizit formuliert werden (können).

Im Rahmen dieses Beitrags kann nicht weiter auf die Präkonzeptforschung eingegangen werden. Die dargestellten Ergebnisse reichen aber aus, um hieraus resultierende Lernschwierigkeiten zu erahnen. Die Feststellung von Niedderer und Schecker (1992), wonach Schülervorstellungen sehr resistent gegen Veränderungen sind, und die Tatsache, daß Präkonzepte von physikalischen Sichtweisen häufig weit entfernt sind, erschweren das Lernen nicht nur bei jüngeren Kindern, sondern auch bei Erwachsenen.

4.3.2 Lernen als Veränderung von Präkonzepten

Aus konstruktivistischer Perspektive wird Lernen als Veränderung von Präkonzepten interpretiert.

Ältere Theorien, die von conceptual change sprechen, also von einem Wechsel der Alltagsvorstellung zur wissenschaftlichen Vorstellung, sind inzwischen differenziert worden. „Echte“ Konzeptwechsel sind selten; Einsiedler schlägt daher vor, eher von der „Entwicklung oder Veränderung von Begriffen oder Zusammenhangswissen“ (1996, S. 14) zu sprechen. Carey (1985) differenziert zwischen weichen und radikalen Umstrukturierungen. Weiche Umstrukturierungen bestehen z.B. aus Wissensausdifferenzierungen, radikale Umstrukturierungen aus der Aufgabe alter und dem Neuaufbau adäquater Konzepte.

Ein geringfügiger conceptual change wird von Posner u.a. (1982) als Assimilation, ein umfassender conceptual change als Akkommodation gekennzeichnet.

Ähnlich unterscheiden Rumelhart und Norman (1978) im Zusammenhang schematheoretischer Überlegungen die Vorgänge bei der Veränderung bestehender Strukturen in Wissenszuwachs (accretion = Anknüpfung neuen Wissens an vorhandene Schemata), Umstrukturierung oder Neuaufbau von Schemata (structuring = alte Schemata werden grundlegend neu strukturiert oder Schemata werden neu aufgebaut) und Feinabstimmung oder Entwicklung von Schemata (tuning = Modifizierung und Ausarbeitung vorhandener Schemata im Hinblick auf Effizienz in der Anwendung). Der Vorgang der accretion ähnelt Piagets Assimilation; der Vorgang des structurings der Akkommodation; im tuning sind beide Prozesse enthalten.

Zur Unterscheidung verschiedener Arten von Konzeptveränderungen spricht Niedderer (1996) auch von conceptual growth, conceptual addition, conceptual revision und conceptual emplacement und enrichment (Carey 1991). Conceptual change Prozesse entsprechen eher diskontinuierlichen Lernwegen, die grundlegende Revisionen erfordern, conceptual growth Prozesse eher kontinuierlichen Lernwegen (Köhnlein 1991a; Löffler 1991; Wiesenfarth 1991), die an vorhandene Vorstellungen anknüpfen und diese erweitern oder differenzieren. In jedem Lernprozeß gibt es in der Regel ein subtiles Wechselspiel beider Prozesse (Duit 1996).

Auch Vosniadou und Brewer (1994) wenden sich aufgrund von Untersuchungen gegen die klassischen Konzeptwechselmodelle, nach denen es um die Ablösung inkonsistenter Fehlvorstellungen geht. Ihre Studien zur Form der Erde (1992) zeigen, daß auf den ersten Blick inkonsistente Vorstellungen eine hohe Kohärenz aufweisen. Wie Carey vermuten sie, daß Präkonzepte aus theorieähnlichen Strukturen bestehen, die im conceptual change Prozeß durch Neuinterpretation von Alltagswissen und Integration von Wissensbestandteilen weiterentwickelt werden.

Allerdings zeigen Untersuchungen von Hewson und Hewson (1992), daß die wissenschaftstheoretische Verpflichtung zur Generalisierung von Aussagen unterschiedlich empfunden wird: So gibt es Kinder, die aufgrund von bemerkten Widersprüchen in ihren Aussagen zum Schwimmen und Sinken in ihren Konzepten verunsichert werden („I can say, I do not know, ... there is a reason, I do not know what the reason is“, ebd. S. 64) und nach einer Umstrukturierung suchen, andere, die Widersprüche in ihren einzelnen Aussagen nicht bemerken oder auch nicht als störend empfinden (ebd.).

Auf die Beobachtung, daß Präkonzepte auch nach Lernprozessen, wenn auch teilweise in veränderter Form, weiter vorhanden sind, reagieren neuere

Theorien, welche die Veränderung von Konzepten im Verlauf von Lernprozessen als Veränderung von Eigenschaften vorhandener Konzepte beschreiben. So gehen Hewson und Hewson (1992) davon aus, daß sich Konzeptveränderungen als *Statusveränderungen* vollziehen. Die Schüler sollen im Verlaufe des Lernprozeß den wissenschaftlichen Vorstellungen einen höheren Status zubilligen als den Alltagsvorstellungen, ohne daß diese ihre Bedeutung in bestimmten Kontexten verlieren.

Niedderer und Goldberg (1995) sprechen von Zwischenvorstellungen, die im Verlaufe von Lernprozessen erreicht werden können, die aber noch nicht wissenschaftlichen Vorstellungen entsprechen, sondern zwischen Alltags- und wissenschaftlichen Vorstellungen anzusiedeln sind (Niedderer 1996). Zwar stellen Zwischenvorstellungen Lernfortschritte dar, doch kann es nach Beendigung des Unterrichts durchaus vorkommen, daß die Schüler zunächst wieder auf „alte“ kognitive Elemente zurückgreifen (z.B. in der Postkonzepterhebung).

Erst nach gewisser Zeit und mit Anstößen zur Aktualisierung des Gelernten gelingt die Rekonstruktion der erworbenen Vorstellungen. Niedderer spricht deshalb von einem Schichtensystem, indem „alte“ und „neue“ Konzepte, auch Zwischenvorstellungen, nebeneinander bestehen.

Als weitere Eigenschaften von aufgebauten Konzepten nennt Niedderer (1996) die *Stärke* oder die Benutzungswahrscheinlichkeit, die *Komplexität*, das *Erklärungsniveau* und die *Allgemeinheit des Gebrauchs*.

Diese differenzierten Kriterien zur Feststellung von Veränderungen von Präkonzepten in Lernprozessen erlauben eine präzisere Lernfortschrittsdiagnose als die älteren Konzeptwechseltheorien. Insbesondere für das Grundschulalter erscheinen sie relevant, weil ein echter Konzeptwechsel, das heißt ein Ablösen der Präkonzepte durch wissenschaftliche Vorstellungen hier in der Regel selten zu erwarten ist. Um so wichtiger erscheint es, Kriterien für Lernfortschritte zu entwickeln.

Auf der Basis der Theorie mentaler Modelle und schematheoretischer Ansätze (vgl. hierzu ausführlicher Mandl, Friedrich, Hron 1988) lassen sich weitere Kriterien für Lernfortschritte formulieren:

Danach liegen *adäquatere* (im Vergleich zu den vorhandenen Präkonzepten) durch Wissenszuwachs, Umstrukturierung oder Feinabstimmung entstandene Strukturen dann vor,

- wenn das Wissen weniger aus *episodischen Repräsentationen* (Einzelfällen) als aus *kategorischen Repräsentationen* (mit zunehmender Verallgemeinerung) und *hypothetischen Repräsentationen* (allgemeinen Aussagen in Wenn-Dann-Form) besteht (Abelson 1976)

- wenn der Grad der *Differenzierung* und *Integration*, der Grad der *Hierarchisierung* und das Ausmaß der *semantischen Netzwerke* zunimmt
- wenn die aufgebauten bzw. angewendeten Strukturen *konsistenter* und *robuster* sind.

Diese zuletzt genannten Begriffe stammen aus der Theorie mentaler Modelle. De Kleer und Brown (1983) beschreiben damit Kriterien für Kausalmodelle. Konsistente Modelle sind frei von inneren Widersprüchen, Robustheit ist gegeben, wenn das Modell auch in anderen Kontexten mit Erfolg zur Erklärung und Vorhersage verwendet werden kann (vgl. Mandl, Friedrich, Hron 1988, S. 14).

Prä- und Postkonzepte sollten daraufhin analysiert werden, inwieweit die genannten Kriterien zutreffen – damit wären differenzierte Kriterien für die Beurteilung von Lernfortschritten gegeben.

4.3.3 Unterrichtsstrategien zur Veränderung von Präkonzepten

Grundsätzlich lassen sich Unterrichtsstrategien nach Scott, Asoko und Driver (1992) unterscheiden in

- „Teaching strategies based upon cognitive conflict and its resolution“ (S. 312) und
- „Teaching strategies based upon the development of ideas consistent with the science point of view“ (S. 316).

Konfliktstrategien werden häufig angewendet, um die Schüler von wissenschaftlichen Konzepten zu überzeugen, die den vorhandenen konträr entgegen stehen. Erzeugte kognitive Konflikte sollen, wie in der kognitiven Psychologie beschrieben, Lernprozesse auslösen.

Lehr-Lernprozeßanalysen haben aber gezeigt, daß diese Strategie vor allem bei jüngeren Schülern nicht unproblematisch ist. So ist der Erfolg einer Konfliktstrategie entscheidend davon abhängig, ob Schüler bereit und fähig sind, den Konflikt wahrzunehmen. Dazu sind einerseits metakognitive Fähigkeiten notwendig (Wodzinski 1996), über die Grundschüler noch nicht unbedingt verfügen; anderserseits erfordert das Sich-Einlassen auf kognitive Konflikte auch die emotionale Bereitschaft, scheinbar sichere Präkonzepte aufzugeben und unsichere Wege zu begehen. Auch negative Folgen von Konfliktstrategien, wie der Verlust an Selbstvertrauen, Verunsicherung, Motivationsverlust und Lernblockaden sind möglich, wenn die erzeugte Unsicherheit nicht durch eine neu gewonnene Sicherheit (durch den Aufbau neuer überzeugender Konzepte) kompensiert wird.

Anknüpfungsstrategien bieten sich dort an, wo Alltagsvorstellungen Überschneidungsbereiche mit den wissenschaftlichen Vorstellungen aufweisen. Solche Schnittstellen werden als *anchoring conceptions*, als Ankervorstellungen, bezeichnet (Clement, Brown und Zietsmann 1989); von diesen ausgehend lassen sich wissenschaftliche Konzepte aufbauen. Auch das Lernen über Analogien (Spreckelsen 1997; Schwedes 1996) ist in diesen Kontext einzuordnen. Die Erforschung von sog. Ankervorstellungen, die sich als Anknüpfungspunkte für kontinuierliche Lernwege eignen, erscheint für den Grundschulunterricht vielversprechend, da die metakognitiven Voraussetzungen für das Erfassen von Konflikten noch nicht bei allen Schülern ausgebildet sind. Zumindest sollten Konfliktstrategien von Anknüpfungsstrategien begleitet werden.

4.4 Zu erwartende Lernschwierigkeiten beim Untersuchungsthema

Mit Jung, Reul und Schwedes (1977) können innenbedingte, lehrbedingte und sachbedingte Lernschwierigkeiten unterschieden werden.

Durch die Lehrsituation bedingte Lernschwierigkeiten, wie z. B. Auswirkungen falscher Konzepte der Lehrpersonen oder einzelner Bedingungen der schulischen Situation, sollen hier außer acht gelassen werden; entscheidend sind die innenbedingten Schwierigkeiten, die aus den vorhandenen Präkonzepten resultieren, und die sachbedingten Schwierigkeiten, die durch die Komplexität der wissenschaftlichen Vorstellung verursacht werden.

Inhaltlich erfordert ein Verstehen des Archimedischen Prinzips ein reziprokes In-Beziehung-Setzen zweier Größen, des Volumens und der Masse, und ihren Vergleich.

Nach Piagets Untersuchungen verfügen die meisten Grundschulkinder noch nicht über die Konstanz des Volumens, so daß eine korrekte Vorstellung vom Dichtebegriff durch den fehlenden Volumenbegriff nicht möglich wäre. Hinzu kommen die operatorischen Schwierigkeiten, zwei abstrakte Größen in Beziehung zu setzen. Auch der Vergleich zwischen zwei Dichtewerten erfordert ein Operieren mit abstrakten Größen. Auch wenn Piagets Ergebnisse mit Vorsicht betrachtet werden sollten (vgl. hierzu auch Buck 1996), ist zu vermuten, daß ein weitgehend selbständiges Verstehen des Archimedischen Prinzips im Grundschulalter kaum möglich ist. Eine Quantifizierung des verdrängten Wassers und der anschließende Vergleich mit dem scheinbaren Gewichtsverlust übersteigen vermutlich die Fähigkeiten der Grundschüler.

Andererseits zeigen die Ergebnisse von Janke und Carey, daß auch Grundschüler, abhängig von situativen Bedingungen, schon über intuitive Dichtevorstellungen verfügen.

Innenbedingte Schwierigkeiten sind zu erwarten, weil Kinder in vielen Alltagssituationen die Erfahrung gemacht haben, daß Körper mit Luft gut schwimmen (der unter Wasser getauchte, emporspringende Ball; Luftmatratzen; das „Leichter-Werden“ im Wasser, wenn man tief Luft holt; Flöße mit darunter angebrachten luftgefüllten Behältern usw.). Die Lufttheorie (ein Schiff schwimmt, weil die Luft, die darin ist, nach oben will), ist deshalb vermutlich tief verwurzelt (vgl. hierzu auch die Interpretationen von Schüleraussagen aus dem Unterrichtsprotokoll von Thiel durch Köhnlein 1991 und in diesem Band). Hinzu kommen alltagsprachliche Deutungen in der sozialen Umwelt und in den Medien wie z.B. „ein Schiff schwimmt, weil es innen hohl ist, weil es einen Rand hat“, die mit dem Luftkonzept verknüpft werden könnten (das Schiff schwimmt, weil es einen Rand hat und deshalb Luft im Schiff ist).

Die vorhandenen Präkonzepte richten sich vermutlich auf die Form des Schiffes und seine äußeren Bedingungen; damit zentriert sich das Denken des Kindes bei der Frage, wie kommt es, daß ein Schiff schwimmt, auf den Kontext „Schiff“. Zum Verstehen der Auftriebskraft und des Archimedischen Prinzips ist ein Kontextwechsel erforderlich, da die Aufmerksamkeit auf das Wasser und seine Eigenschaften gerichtet werden muß. Kontextwechsel werden nicht leicht vollzogen; vor allem ist zu vermuten, daß Kinder einen vom Lehrer durchgeführten Kontextwechsel nicht ohne Schwierigkeiten mitvollziehen.

Bei der Frage nach dem Verhalten von Vollkörpern ist zu vermuten, daß eine Reihe widersprüchlicher Minitheorien auftauchen (ein Ding schwimmt, weil es klein ist, leicht ist, flach ist, weil es eine spezielle Form hat usw.), die von den Schülern nicht unbedingt als widersprüchlich empfunden werden. Da auch hier von einer starken Verankerung der Präkonzepte ausgegangen werden muß, ist damit zu rechnen, daß einmalige Wahrnehmungen nicht zur Erschütterung der Minitheorien führen. Auch das Negieren von Wahrnehmungen, die den eigenen tief verwurzelten Präkonzepten widersprechen, ist zu erwarten.

5. Aufbau der Untersuchung

5.1 Anlage der Untersuchung und Datenerfassung⁴

Um die Veränderung von Präkonzepten durch Lehr-Lernsituationen erfassen zu können, wurden vor und nach Durchführung des Unterrichts Prä- und Postkonzepte in Einzelbefragungen durch halbstandardisierte, offene, weiche und problemzentrierte Interviews ermittelt (Mayring 1993; Lamnek 1995; Hopf 1991). Die Postkonzepterhebung fand vier, teilweise aus organisatorischen Gründen auch acht Monate nach dem Unterricht statt, um kurzfristige Lerneffekte auszuschließen.

Ergänzend zur Prä- und Postkonzepterhebung fand im Anschluß an die Vorbefragung eine Erhebung von Gruppenlernprozessen statt, um Zwischenvorstellungen und nicht stabile Konstruktionen sowie individuelle Lernwege zu erheben und Lernschwierigkeiten im Lehr-Lernprozeß analysieren zu können.

Die unterrichtsähnlichen Situationen wurden parallel in Gruppen zu je drei bis vier Schülern durchgeführt; diese Gruppengröße ermöglichte kooperatives und dialogisches Lernen und zugleich das Verfolgen der individuellen Lernprozesse auch in der Gruppe. Auch hier sicherten Leitfäden für die Unterrichtsgestaltung eine relative Vergleichbarkeit. Die Gesamtzahl der an der Untersuchung beteiligten Schüler wurde auf elf beschränkt, da sämtliche Äußerungen in der Vor- und Nachbefragung transkribiert werden sollten.

Um den individuellen Einfluß der Lehrperson auf den Lernprozeß zu minimieren, wurden sämtliche unterrichtsähnlichen Situationen von anderen Lehrpersonen durchgeführt.

Befragungen und Lehr-Lernsituationen wurden audiovisuell aufgezeichnet und vollständig transkribiert; aktionale und zeichnerische Äußerungen wurden dabei ebenfalls dokumentiert (Abbildung 1 im Anhang gibt einen Überblick über das Untersuchungsschema).

⁴ An der Untersuchung waren folgende Studentinnen beteiligt: Miriam Ballering, Anja Dürken, Alexandra Erfmann, Sabine Hellgermann, Angela Jonen, Ute Lunemann, Christiane Rinas, Sandra Schulze-Hobbeling und Stephanie Vieth. Ich danke Ihnen für die vielen Anregungen, Diskussionen, Hilfen in der Organisation, für wertvolle Auswertungsaspekte, für die Durchführung der Befragungen und des Unterrichts, für die engagierte Zusammenarbeit und vor allem für die aufwendigen Transkriptionen! Kristina Dohm, Alexandra Gardhoff, Angela Jonen und Jeanette Schade danke ich herzlich für die restlichen Transkriptionen und für die Zusammenstellung des 470seitigen Transkriptionsbandes.

5.2 Zur inhaltlichen Gestaltung des Unterrichts

Bei der inhaltlichen Planung der Untersuchung wurden die oben entwickelten Merkmale moderat konstruktivistisch orientierter Lernumgebungen berücksichtigt. Aufgaben, Fragen und Problemstellungen wurden durch Rahmenhandlungen und narrative Anker situativ eingebunden; die Schüler erhielten ausgiebig Gelegenheit, mit Gegenständen – auch wiederholt – zu experimentieren; offene Experimentierphasen wechselten mit strukturierten Auswertungsphasen; der sprachlichen Auswertung wurde viel Platz eingeräumt, dabei wurden Alltagssprachliche Formulierungen, wie z.B. „Platz brauchen“ zwar angeboten, nicht aber vorgeschrieben; Zusammenhänge wurden zeichnerisch durch Schemata strukturiert dargestellt (nicht als Information, sondern als Ergebnissicherung) und durch eine spielerisch-aktionale Darstellung ergänzt; das Aushandeln von Meinungen unter den Schülern wurde gefördert; die metakognitive Ebene wurde in der Nachbefragung angesprochen; gedankliche Um- und Irrwege der Schüler wurden akzeptiert.

Die unterrichtsähnlichen Situationen richteten sich auf folgende Ziele:

- Erschüttern der in der Vorbefragung erhobenen Minitheorien zum Schwimmen und Sinken von Vollkörpern durch Experimente, Aufbau der Materialkategorie und eines intuitiven Dichtekonzeptes (Anknüpfungsstrategie und Konfliktstrategie, Neuaufbau, Umstrukturierung und Feinabstimmung vorhandener Konzepte)
- Erschüttern der als Präkonzept zu vermutenden Lufttheorie (Konfliktstrategie), Vorbereitung des Konzeptes Wasserverdrängung durch Verformen eines Vollkörpers (Knete) in einen Hohlkörper mit Schwimmversuchen (Knetschiff)
- Aufbau eines Konzeptes „auf eingetauchte Gegenstände wirkt eine nach oben gerichtete Kraft (Auftriebskraft)“ (prozedurales Wissen zur Auftriebskraft) über verschiedene Experimente in einem Phänomenkreis (Spreckelsen) (Anknüpfungsstrategie)
- Aufbau des Zusammenhangs Wasserverdrängung – Auftriebskraft durch eine strukturierte Versuchsreihe mit sprachlicher Auswertung und anschließendem Transfer auf das Schwimmen von Schiffen.

Zur Vorbefragung:

(Die im folgenden Text angegebenen „Stichworte“ beziehen sich auf die Prä- und Postkonzeptauswertung, die im Anhang in Abbildung 3 zusammengefaßt dargestellt ist.)

- Stichworte: „Holzklotz“, Holzstange, „Eisenholz“, Eisendraht, Eisenblech, Eisenspitze: In der Vorbefragung wurden zunächst Minitheorien der Schüler zum Schwimmen und Sinken anhand einer Reihe ausgewählter Gegenstände (Vollkörper) ermittelt.
- Stichworte: Knetkugel und Coladose: Prozedurales und intuitives Wissen wurde durch Bauen eines Floßes aus zur Wahl gestellten Materialien (Holzstangen, Eisenstangen) und durch Verformen einer Knetkugel zu einem Boot (um einem Piraten zu helfen = situative Einbindung) erfragt; das intuitive Dichtekonzept durch den Vergleich einer halbierten Coladose mit einer zusammengedrückten Coladosenhälfte in Bezug auf das Schwimmverhalten.
- Stichwort: Joghurtbecher: Zur Überprüfung, ob die Lufttheorie fest verwurzelt ist, konfrontierten wir die Schüler zunächst mit einem leeren, dann mit einem mit Wasser gefüllten Joghurtbecher und ließen das Verhalten des Bechers im Wasser vorhersagen.
- Stichworte These Anfang, These Ende: Das deklarative Wissen wurde durch die Frage : „Wie kommt es, daß ein Schiff aus Eisen schwimmt, ein Stück Eisen aber untergeht?“ erfragt. Diese Frage wurde zu Anfang und am Ende des Gespräches gestellt. Zur Veranschaulichung war den Kindern vor Beginn der Befragung ein Film über Schiffe auf dem Meer gezeigt worden.

Die Schüler wurden bei jedem Schritt (in der Regel) zunächst nach ihren Vermutungen und Begründungen für ihre Vermutungen gefragt, danach hatten sie die Möglichkeit, im Wasserbecken mit den Gegenständen zu hantieren.

Gestaltung der Lehr-Lernsituationen:

1. Einheit (60 min)

- Entwickeln und Überprüfen von Theorien zum Schwimmen, Sinken und Schweben von Vollkörpern durch Gespräche über die in der vorhergehenden Einzelbefragung geäußerten Präkonzepte (Äußern von Vermutungen, Induzierung soziokognitiver Konflikte, Überprüfen der Vermutungen durch Handlungen, Kommentierung der Ergebnisse)
- Erschüttern der in der Vorbefragung geäußerten Lufttheorie beim Schwimmen von Hohlkörpern, indem Gefäße (Joghurtbecher, Teelicht, Nußschale) mit Wachs, Öl oder Wasser gefüllt werden
- Durchführen eines Knetschiffchenwettbewerbs: Verformen einer Knetkugel zu einem möglichst gut belastbaren Boot (welcher Pirat kann die meisten Goldstücke abtransportieren in seinem Boot? = narrativer Anker)

2. Einheit (60 min)

- Durchführen eines Stationsunterrichts zum Phänomenkreis „Hydrostatischer Druck“ und „Auftriebskraft“ durch folgende Versuche, die wiederholt ausprobiert, beobachtet und beschrieben wurden (Arbeitsblatt): Eintauchen eines über die Hand gestülpten Plastikhandschuhs ins Wasser, langsames Eintauchen und wieder Herausziehen eines an einem Gummiband befestigten Steines, das gleiche mit einem an einer Angel befestigten Stein, Erspüren des Unterschieds beim Eintauchen eines kleinen und eines großen Plastikbechers, Beobachten des Anstiegs des Wasserstandes beim Eintauchen eines großen und eines kleinen Bechers.
- Auswertung der Beobachtungen in der Gruppe

3. Einheit (60 min)

- Sprachliche Festigung der Versuchsergebnisse aus der 2. Einheit
- Erarbeitung des Begriffes „Platz brauchen“
- Erarbeitung der wirkenden Kräfte (Gewichtskraft, Auftriebskraft) in einem Spiel als gegeneinander wirkende Kräfte mit Übertragung auf das schwimmende Schiff, Strukturdarstellung der wirkenden Kräfte in einer Zeichnung
- Versuch: Ein im Salzwasser schwimmendes Ei (Förderung des Kontextwechsels von der Form des Schiffes zur Eigenschaft des „drückenden“ Wassers)

4. Einheit (60 min)

- Erarbeitung der Beziehung „Je mehr Platz ein Gegenstand im Wasser braucht, umso mehr Wasser verdrängt er, umso mehr drückt das Wasser den Gegenstand von unten nach oben hoch“ anhand des Vergleichs von vier Knetformen gleicher Masse (Kugel, Platte, kleiner Becher, großer Becher): Versuch (Eintauchen der verschiedenen Formen in Wasser, Erspüren der Auftriebskraft) mit anschließender Auswertung; prozedurale und begrifflich-symbolische Erarbeitung der Je-desto-Beziehung
- Transfer des Je-desto-Konzeptes auf das Schwimmen von Schiffen

5. Einheit (30 min) (mit allen an der Untersuchung beteiligten Schüler)

- Zusammenfassung der Ergebnisse durch Zuordnung von (auf Zetteln notierten) Schüleraussagen zu vorgegebenen Überschriften (Manche Dinge schwimmen, manche Dinge gehen unter – Das Wasser drückt – Dinge brauchen Platz im Wasser – Warum schwimmt ein Eisenschiff?) auf Plakaten; die Schüler begründen dabei ihre Zuordnung (concept

mapping). Dabei stellen die Schüler gleichzeitig Versuche mit Materialien zusammen, mit denen sie die entsprechenden Aussagen ihren Mitschülern überzeugend vermitteln können. Die Plakate mit den Aussagen und die Versuche sollen Mitschüler anregen, sich mit dem Thema zu befassen.

- Diskussion einiger „Knobelfragen“ (Prüfung der Transferfähigkeit)

Postkonzepterhebung:

In der individuellen Postkonzepterhebung wurde zu Beginn und am Ende die Frage „Wie kommt es, daß ein eisernes Schiff schwimmt?“ gestellt. (Stichworte These Anfang, These Ende)

Die weiteren Fragen (abgekürzt):

- Stichwort Stein am Gummiband: Erinnern die Schüler sich an die im Stationenbetrieb durchgeführten Versuche zur Auftriebskraft?
- Stichwort Transfer: Haben die Schüler Ähnliches (die Auftriebskraft) schon einmal gespürt (Hilfe: im Schwimmbad) ?
- Stichwort Gegenstände: Fragen zum Schwimmen und Sinken von Vollkörpern
- Stichwort Kräftespiel: Erinnern die Schüler sich an das Spiel mit entgegengesetzten Kräften? Können sie es auf Beispiele anwenden?
- Stichwort zwei Boote: Welches der beiden Boote (unterschiedliches Volumen, gleiche Masse) kann den schweren Schatz (einen Goldklumpen) sicherer transportieren?
- Stichwort kleiner Becher – großer Becher: Was haben die Schüler beim Eintauchen der verschieden großen Becher bemerkt? Was passierte mit dem Wasserstand? Wie beschreiben sie das Ergebnis?
- Stichwort Knobelfragen: Was passiert mit einem Schiff, wenn es statt im Meer in einem Süßwassersee fährt?
- Stichwort allgemeiner Satz: Können die Schüler mit eigenen Worten das Ergebnis zusammenfassen? (ohne Reproduktion eines „Merksatzes“)
- Stichwort überzeugende Versuche: Die Schüler wurden abschließend gefragt, welche Versuche sie bei Mitschülern durchführen würden, damit diese die gestellte Frage beantworten können.

Während der Nachbefragung standen die im Unterricht benutzten Gegenstände zur Verfügung, auch für evtl. Überprüfungen. Die Nachbefragungen dauerten ca. eine Stunde.

5.3 Antizipierte Ergebnisse und Auswertungskategorien

Hypothese:

Unter den beschriebenen Lernbedingungen, die durch Merkmale moderat konstruktivistisch orientierter Lernumgebungen gekennzeichnet sind, sind Grundschul Kinder (hier 4. Klasse) in der Lage, ihre Präkonzepte in Richtung „adäquatere“ Konzepte zum Themenkreis „Schwimmen und Sinken“ zu verändern.

Der Begriff adäquat wird im oben dargelegten Sinn gebraucht:

- Die veränderten Konzepte sind *widerspruchsfreier und robuster*.
- Die aufgebauten semantischen Netzwerke werden durch *Differenzierung, Integration* und *Hierarchisierung* komplexer.
- Die Begründungen greifen weniger auf *episodische*, sondern verstärkt auf *kategorische* und *hypothetische* Argumentationen zurück.
- Die veränderten Konzepte haben einen höheren *Status* als die Präkonzepte.

Die hier angegebenen Kriterien für adäquatere Konzepte sind gleichzeitig Auswertungskategorien für die Analyse der transkribierten Daten.

Im einzelnen bestehen aufgrund vorliegender Untersuchungen und theoretischer Annahmen folgende Teilhypothesen:

1. *Theorien zum Schwimmen von Vollkörpern*: Diese werden zunehmend adäquater.
2. *Dichtekonzept*: Die Schüler entwickeln bzw. verfügen über ein intuitives Dichtekonzept.
3. *Lufttheorie*: Da eine tiefe Verwurzelung der Lufttheorie zu erwarten ist, wird dieses Konzept im Lernprozeß nicht aufgehoben, sondern wechselt lediglich seinen Status (Schichtentheorie).
4. *Auftriebskonzept*: Es wird ein Konzept zur Auftriebskraft in hypothetischer Form aufgebaut, das umgangssprachlich formuliert werden kann. Dieses Wissen kann auf das Schwimmen von Schiffen angewendet werden. Das beim Leitungswasser erarbeitete Konzept kann auf andere Flüssigkeiten übertragen werden.
5. *Zusammenhang Volumen – Auftriebskraft*: Über einen Neuaufbau von Strukturen entwickeln die Schüler ein qualitatives Konzept zum Zusammenhang „Volumen des eingetauchten Körpers – Wasserverdrängung – Auftriebskraft“ in Form einer je desto Aussage am Beispiel von eingetauchten Gefäßen. Sie können dieses Wissen über Analogiebildung übertragen auf das Schwimmen von Schiffen.

6. *Schwimmen bzw. Sinken von Hohlkörpern*: Das Schwimmen bzw. Sinken von Voll- und Hohlkörpern kann in hypothetischer Form als Wechselspiel zweier entgegengesetzt gerichteter Kräfte aufgefaßt und auf das Schwimmen von Schiffen übertragen werden.

Darüber hinaus bestehen folgende explorative Fragestellungen:

Welche Minitheorien treten auf, welche werden verworfen? Wie äußern sich die intuitiven Konzepte sprachlich? Welche Zusammenhänge werden episodisch, kategorisch oder sogar hypothetisch begründet? Welche Differenzierungen, Integrationsvorgänge und Hierarchisierungen werden vorgenommen? Welche Lernschwierigkeiten lassen sich feststellen?

6. Ergebnisse

6.1 Theorien zum Schwimmen von Vollkörpern⁵

Obwohl alle Schüler auf die Frage, welche Stangen (solche aus Holz oder solche aus Eisen) für den Bau eines Floßes geeigneter seien, sehr sicher Stangen aus Holz auswählten (weil Eisen zu schwer ist, Holz leichter ist, Eisen untergeht), verursachte die Darbietung spezieller Vollkörper eine Aufgabe der Material- bzw. der intuitiven Dichtetheorie. So meinten 7 von 11 Kindern, daß ein schwerer Holzklotz untergehe (weil er so schwer ist; so riesig und schwer; nach dem Ausprobieren: das hätte ich nie gedacht), 9 von 11 Kindern, daß ein flaches, ebenes Metallstück schwimmt (weil es gleichmäßig verteilt ist; weil das flach ist; weil es so ist, daß es auf dem Wasser bleiben kann; weil das Blech leichter ist als die Eisenstange). Bei der Frage, ob ein Eisendraht schwimmt oder sinkt, meinen nur zwei der elf Kinder, daß er schwimmt, weil's auch Eisen ist. Die anderen sind unsicher (1), geben entweder falsche Begründungen für das Sinken (2; weil keine Luft dran kommt; weil er (der Draht) sich nicht festhalten kann) oder meinen, der Draht schwimme (6 Schüler). Bei der sich anschließenden Frage, ob die Spitze einer Stecknadel schwimmen kann, argumentieren immerhin vier Schüler mit der Materialkategorie (eigentlich gehen alle Metallsachen unter; weil's aus demselben Draht ist; weil das auch schwer ist; weil's ein Draht ist), die anderen sind unsicher, geben falsche Begründungen (weil das Wasser so schnell drüber gehen kann) oder meinen, die Spitze schwimme.

⁵ Bei den Schüleraussagen handelt es sich um Zitate, auch wenn sie nicht durch Anführungszeichen gekennzeichnet sind. Kennzeichnungen erfolgen nur, wenn die Einfügung in einen Satz eine Hervorhebung erforderlich macht.

Die auftauchenden Fehlkonzepte sind bestimmt durch Vorstellungen vom absoluten Gewicht (beim Holzklötz, Nadelspitze), von der Vorstellung, etwas Flaches könne sich auf dem Wasser festhalten (Eisenblech) und von der Vorstellung, etwas sinke, wenn das Wasser leicht und schnell über den Gegenstand wegspülen kann (vielleicht benutzen die Kinder diese Vorstellung, um Vollkörper von Hohlkörpern zu unterscheiden). Auch Unsicherheit, Ratlosigkeit und wirkliche Konflikte sind zu beobachten (ich glaub, ich kann überhaupt nicht mehr schätzen; (nach Untergehen der Metallstange): Ja aber, wenn das Schiff dann auch aus Eisen ist, dann müßte das ja eigentlich auch untergehen! – Vorstellen kann ich mir das nicht, warum das untergeht (zum Sinken der Nadelspitze)). Selbst Schüler (2), die durch häufige Äußerungen zeigen, daß sie über ein Materialkonzept verfügen, welches sie beim Holzklötz, beim Eisendraht und bei der Eisenspitze sicher anwenden, lassen sich von der Form der flachen Metallplatte irritieren.

Abbildung 2 (Anhang) mit den Spalten 1 bis 4 gibt einen Überblick über das Vorhandensein eines Materialkonzepts bei den Präkonzepten. Sie zeigt, daß nur der Schüler Ju über ein relativ stabiles Materialkonzept zur Begründung des Schwimmens oder Sinkens von Vollkörpern verfügt, alle anderen Schüler werden durch die äußeren Besonderheiten zur Bildung nicht robuster und nicht widerspruchsfreier Konzepte angeregt.

In der Folgestunde, die in Kleingruppen stattfand, wurden die unterschiedlichen Konzepte erörtert; wieder konnten die Schüler mit den Gegenständen hantieren, um ihre Vermutungen zu überprüfen. Im zweiten Teil der Stunde sollten die Schüler anhand eines Fragebogens das Schwimmen und Sinken verschiedener Vollkörper vorhersagen und ihre Vorhersage jeweils begründen (nach der Vorhersage erfolgte die Überprüfung).

Abbildung 2 (Spalte 5) im Anhang gibt die Anzahl der kategorischen oder hypothetischen Äußerungen der Schüler zur Materialabhängigkeit in den Gruppendiskussionen wieder; in Klammern sind die Äußerungen vermerkt, die explizit Bezug nehmen auf einen ausgeräumten kognitiven Konflikt (auch ein Baumstamm, der schwer ist, schwimmt; daß das Schwere untergeht und das leichte schwimmt, ist nicht immer so; die Nadelspitze geht trotzdem unter, obwohl sie so leicht ist). Zwei Schülerinnen äußern sich in dieser Situation kaum; eine Auswertung ist daher nicht möglich. Deutliche Lernfortschritte sind bei den Schülern He, Ma, Se, Ki, und Mn zu sehen. Insgesamt argumentieren neun Kinder mit dem Materialkonzept; in der Vorbefragung zeigte nur Ju ein solches Konzept. Da es sich um einen Gruppenlernprozeß handelt, sind Lernprozesse bei den sich weniger äßernden Kindern nicht auszuschließen.

Daß die im Lehr-Lernprozeß aufgebauten Konzepte immer noch durch widersprüchliche Deutungen in neuartigen Einzelfällen (Episoden) „außer Kraft“ gesetzt werden, zeigen die Schülerantworten zum Schwimmen oder Sinken bei einem Holzknopf mit Löchern und bei einer Büroklammer. Hier werden zwar nicht mehr, wie in der Vorbefragung, nicht integrierte und nicht widerspruchsfreie Sonderkonzepte entwickelt; allerdings führen die Gegenstände zur Verunsicherung: (der Holzknopf) könnte sinken oder oben bleiben, ich schätze aber, weil es Holz ist; irgendwie kann ich es mir auch nicht vorstellen..., weil das meiste Holz bis jetzt oben bleibt.

Die leider in der Nachbefragung nicht systematisch erhobenen Vorstellungen zum Schwimmen/ Sinken von Vollkörpern sind in Spalte 6 von Abbildung 2 aufgeführt; sie zeigen, daß vier Kinder relativ stabile (Fl, He, Ju, Se), zwei Kinder (Ma und Ol) labilere Konzepte zur Materialabhängigkeit von Vollkörpern entwickelt haben (daß der große Holzklötz nicht untergeht, ist z.B. für Ma nun ganz klar; diesen Versuch würde sie als Lehrerin gar nicht machen, „weil Holz schwimmt, das ist doch klar, das weiß doch jedes Baby“). Zumindest bei Fl, He, Se, vermutlich auch bei Ma und Mn, vielleicht auch bei Ol, sind Konzeptwechselprozesse anzunehmen; Ju konnte seine Konzepte differenzieren. Vier Kinder antworten in der Nachbefragung mit der Aktualisierung ihrer Präkonzepte; es kann allerdings nicht ausgeschlossen werden, daß eine intensivere Befragung zur Aktivierung der neu aufgebauten Konzepte hätte führen können (Schichtenmodell).

Insgesamt läßt sich feststellen:

Das episodische Denken ist zwar noch teilweise vorhanden, die Argumentationen zeigen aber insgesamt einen deutlichen Anstieg adäquaterer kategorischer und hypothetischer Äußerungen.

Die Vorstellungen wurden differenzierter (fast alles Holz schwimmt, aber Eisenholz nicht) und hierarchischer (weil's Holz ist); außerdem weisen sie eine Integration von Teilkonzepten auf (auch etwas Schweres kann schwimmen, etwas Kleines kann untergehen).

Die Vorstellungen wurden widerspruchsfreier (die Eisenspitze sinkt auch, obwohl sie leicht ist) und auch robuster (fast alle, auch die neuen Beispiele konnten richtig vorhergesagt werden) – so gelang einigen Schülern über vergleichende Schlüsse das Vorhersagen z.B. von Wachs (das ist leichter als Holz) und von Styropor (das ist ganz leicht).

Auch Ad-hoc-Antworten und Verlegenheitsantworten sind seltener geworden. Bei einigen Kindern ist ein echter Conceptual change anzunehmen. Zur weiteren Stabilisierung der neu aufgebauten bzw. differenzierten Konzepte wären weitere Sonderfälle, Wiederholungen und Schülerdiskurse vermutlich hilfreich gewesen.

6.2 Intuitives Dichtekonzept – Gewichtskraft – Druck

Mit „leicht“ und „schwer“ bezeichnen die Schüler abwechselnd sowohl die Dichte als Materialeigenschaft wie auch das absolute Gewicht von Gegenständen wie auch den von dem Gegenstand auf eine Fläche ausgeübten Druck.

In der Vorbefragung zeigt sich ein vermutlich intuitives Dichtekonzept in folgenden Aussagen: Holzstangen sind zum Floßbau besser geeignet als Eisenstangen, weil sie „leichter“ sind als Metall. Das kleine Drahtstück geht genauso unter wie das große, weil „das auch schwer ist“. Auf die Frage, warum ein dicker Holzklotz schwimme, antwortet Se „Holz ist leichter als Stahl“; Ve „Eisen ist auch schwerer als Holz“, Mn „Wahrscheinlich liegt es am Holz. Das ist auf jeden Fall so ein Material, was nicht so schwer ist wie das andere (Eisen)“.

Insgesamt lassen die vorliegenden Aussagen darauf schließen, daß acht der elf Kinder über ein intuitives, aber kaum explizierbares Dichtekonzept verfügen. Die Schüler sind sich der Zweideutigkeit der Begriffe schwer und leicht nicht bewußt – vielleicht, weil sie diese Begriffe je nach Kontext mit unterschiedlichen Bedeutungen verknüpfen.

Im nachfolgenden Unterricht werden diese Begriffe im Zusammenhang mit der Interpretation des Coladosenversuchs (eine zusammengepreßte halbierte Coladose sinkt, eine „heile“ schwimmt) differenziert. Nachdem die Schüler mit den beiden Coladosenhälften hantiert haben, meinen sie, „man fühlt’s irgendwie, daß das hier leichter ist als das“, „weil alles auf einer Stelle ist (ist es schwerer)“ usw. Als der Lehrer vorschlägt, beide Teile zu wiegen, schränken die Schüler ein: „Es ist ja eigentlich beides gleich schwer, bloß hier ist beides auf einer Stelle und hier ist es verteilt“ (He); bei dem Klumpen da ist „alles zusammengequetscht, das ist nicht verteilt das Gewicht“ (Ol). Zwischen den Schülern entwickelt sich folgender Dialog:

Ol: „Ja, weil, eigentlich ist das ja gleich, weil von einer ganzen Coladose die Hälfte genommen wurde, dann kann das ja überhaupt nicht schwerer sein.“ –
Se: „Ja, das ist so ein Gefühl, was man hat. So ein Fingerspitzengefühl.“ –
Ol: „Vielleicht weil, wenn man das Zusammengequetschte auf die Hände legt, dann ist das hier alles, dann ist das so klein (zeigt auf die Aufdruckfläche). Da ist auf der kleinen Handfläche das ganze Gewicht und bei der (heilen Coladosenhälfte) ist das auf die ganze Hand verteilt.“

Diese Interpretation wird von der überwiegenden Zahl der Kinder auch noch in der Nachbefragung benutzt (nur Fl meint zu Beginn der Nachbefragung, die zusammengepreßte Coladose wäre auf einer Waage schwerer, weil sie zusammengepreßt ist). Die zusammengepreßte Coladosenhälfte geht unter, weil „die zusammengefaltete ihr Gewicht nicht verteilt hatte“ (Ma), „weil das Gewicht sich nicht so gut im Wasser verteilt“ (Mn).

Das Konzept „Gewicht wird auf einen Raum verteilt“ (intuitives Dichtekonzept) benutzen die Schüler in der Nachbefragung auch zur Erklärung des Schwimmens von Schiffen:

„Das Schiff (Eisenschiff) hat Hohlräume. Und dann ist das ein bißchen leichter. Ja und die Eisenstange, ja weil sie zu ist, hat sie keine Hohlräume, dadurch ist sie ja automatisch schwerer.... Weil das Schiff dann mit dem Hohlraum praktisch leichter ist.“ (Ki) – „Ein Schiff schwimmt, weil das Gewicht verteilter ist und weil das einen Rand hat und wenn man das auseinanderzieht, wird das leichter, glaub ich zumindest“. (Ma)

Auch wenn die Bezeichnungen „leicht“ und „schwer“ noch immer in doppelem Sinn verwendet werden, so machen Zusätze wie „praktisch“ deutlich, daß eine Differenzierung in der Bedeutung stattgefunden hat. Die in diesen Äußerungen sichtbar werdende Vorstellung „ein Schiff schwimmt besser, wenn seine Masse auf ein größeres Volumen verteilt ist“, scheint für die Schüler hilfreich zu sein. Vielleicht könnte diese Vorstellung als Ankerpunkt für die Ausbildung eines Konzeptes „Gesamtdichte des Systems Schiff“ genutzt werden; im weiteren Unterricht könnte dann durch einen Vergleich der Dichte des verdrängten Wassers mit der Gesamtdichte des Schiffes das Schwimmen und Sinken erschlossen werden.⁶

6.3 Conceptual Change und Statusveränderungen bei tief verwurzelten Konzepten (deep structures)

Teertheorie:

Ein Schüler (Fl) äußert in der Vorbefragung ein aus seiner Erfahrung stammendes Konzept. Im weiteren Verlauf des Unterrichts wird deutlich, daß Fl bei den Pfadfindern ein Schiff aus Papier gebaut hatte und das Papier mit Wachsmalstiften angemalt hatte. Diese Erfahrung des Dicht-Machens durch Beschichten überträgt er auf eiserne Schiffe. Diese schwimmen, weil sie mit Teer bestrichen sind. Die Eisenstange (in der Vorbefragung) geht unter, weil sie nicht mit Teer bestrichen ist. Auch das Eisenblech, meint Fl, könne man mit „Wachsmal-Dings oder äh Teer“ zum Schwimmen bringen. Er begründet seine Vermutung damit, daß dann das Wasser nicht eindringen könne. Wie tief verwurzelt seine Theorie ist, zeigt sich, als er zum Ende der Vorbefragung vorschlägt, die gezeigte Eisenmutter mit Teer zu bestreichen, damit sie schwimmt. Auf dieses Konzept in der Nachbefragung angesprochen,

⁶ Buck schlägt diesen Weg als legitim vor; er führt dieses Vorgehen als Beispiel für eine chemische statt physikalische Zugriffsweise auf das Phänomen Schwimmen und Sinken an (1996). Dieser Weg wurde in unserem Unterricht nicht besprochen.

erklärt Fl, das stimme nicht. Auch wenn man eine Eisenplatte mit Teer anstreichen würde, geht das unter, „weil der Platz nicht richtig verteilt ist“.

Lufttheorie:

Vier Kinder (siehe Anhang: He, J, Ju, Ma) meinen in der Vorbefragung, das Schiff schwimme wegen der Luft. He's Vorstellung ist unbestimmt: das Schiff hat vielleicht Lufträume, der Draht geht unter, weil keine Luft drankommt, ein zur Hohlform gebogenes Eisenblech würde innen Luft enthalten und deshalb nicht untergehen. Eine kausale Verknüpfung gibt He nicht an. Für J dagegen schwimmt das Schiff, weil es hohl ist, Luft enthält und Luft nicht untergeht, eine in dieser Form in der Literatur häufig vorkommende Aussage. Ju's Konzept ist tief in seiner Erfahrung verwurzelt. Vom Bau von Flößen mit Kanistern als Schwimmhilfen ausgehend, schließt er, daß Schiffe schwimmen, weil sich unter dem Schiff Kanister o.ä. mit Luft befinden. Ma's Präkonzept hat einen sozial begründeten, hohen Status: sie meint, daß im Schiff Luft eingeschlossen sei, die nach oben will – deshalb geht das Schiff nicht unter. Das habe ihre Mutter ihr so erklärt. Diese Erklärung hat einen so überzeugenden Wert, daß Ma aus der Knetkugel nicht wie alle anderen Kinder ein Knetboot formt, sondern eine geschlossene Kugel, die innen Luft enthält. Auch das Loch in der in der Vorbefragung gezeigten Eisenmutter will Ma mit Knete zumachen, damit Luft eingesperrt wird und die Eisenmutter schwimmt.

In der Nachbefragung hat das Luftkonzept bei He an Status verloren, statt dessen argumentiert er mit dem Wasserdruck. Allerdings nennt He am Anfang der Befragung die Luftkammern als Ursache des Schwimmens. Als der Interviewer im Verlauf des Gesprächs daraufhin nachfragt, antwortet He, „die Luft drückt das Boot ja auch nach oben“. Das Luftkonzept stört sein Auftriebs- bzw. Gewichtskraftkonzept allerdings nicht; es wirkt additiv. Ein bewußter Konzeptwechsel hat nicht stattgefunden. He hat statt dessen an seinem Präkonzept vorbei ein neues Konzept aufgebaut.

J argumentiert in der Nachbefragung von Anfang an mit dem Wasserdruck. Das Luftkonzept kommt nur noch am Rande vor; seine Vorstellung ist adäquat. Insofern kann von einem Konzeptwechsel ausgegangen werden. Allerdings bezeichnet er die in der Wirkung und Richtung richtig erfaßte Gewichtskraft als „Luftdruck“ statt als „Gewicht“; man könnte vermuten, er habe einen Kern seiner ursprünglichen Theorie mit in das neue Konzept hinübergenommen.

Auch Ju greift wie He zunächst auf seine luftgefüllten Bojen u.ä. zurück, argumentiert dann aber mit dem Wasserdruck. Zwischendurch verwendet er, vermutlich als Ad-hoc-Konstruktion, die Vorstellung „die Luft zieht“ (als er

sich an einen Versuch nicht erinnern kann). Nach entsprechenden Versuchen, die in der Nachbefragung wiederholt wurden, äußert er, „dann kann es an der Luft nicht liegen“. Zu vermuten ist ein Konzeptwechsel, der sich erst in der Nachbefragung vollzieht – ob er stabil ist, konnte nicht mehr festgestellt werden. Da Ju zunächst auf sein in der Vorbefragung geäußertes Konzept zurückgreift, scheint diese „Schicht“ der Deutung zumindest noch vorhanden zu sein.

Einen eindeutigen, bewußt wahrgenommenen Konzeptwechsel vollzieht Ma. Obwohl sie sich im Unterricht lange gegen andere Erklärungen, auch von Mitschülern sperrte (meinst Du, meine Mutter ist blöd?), sagt sie, nach kurzem Zögern in der Nachbefragung, „die Luft ist doch nicht daran schuld“. Da Ma auch sehr differenziert mit der Auftriebs- und Gewichtskraft argumentiert, kann man von einem Konzeptwechsel sprechen.

Von der Lufttheorie im oben beschriebenen Sinn zu unterscheiden ist die Luftraum- bzw. Hohlraumtheorie; sie wird in der Nachbefragung von vier Kindern vertreten (Fl, Ki, Ve, ansatzweise auch Ol). Auch hier argumentieren die Schüler mit Luft, die im Schiff ist, meinen damit aber, daß ein größerer Hohlraum (also auch mehr Luft) zu einer besseren Verteilung des Gewichtes führt und das Wasser dann besser drücken kann. Ki formuliert: Die Fracht muß gut verteilt sein, daß genügend Hohlräume entstehen, damit das Schiff dann halt eben etwas leichter ist,.. daß das dann oben bleiben kann. Diese Vorstellung knüpft an das oben beschriebene Dichtekonzept an; der Luft wird hierbei keine aktive, ziehende oder drückende Rolle zugesprochen.

Entgegen der formulierten Hypothese hat in einigen Fällen ein eindeutiger Konzeptwechsel stattgefunden (Fl, Ma, J), bei den anderen Schülern (He und Ju) hat die Lufttheorie stark an Status verloren. Tief in der Erfahrung oder sozial verwurzelte Konzepte wurden aufgegeben, ein neues adäquateres Konzept wurde aufgebaut.

6.4 Aufbau des Konzeptes Auftriebskraft

Das Lernen anhand eines Phänomenkreises zur Auftriebskraft scheint sehr fruchtbar gewesen zu sein. Fast alle Kinder erinnern sich in der Postkonzeptbefragung an die Wahrnehmungen beim Eintauchen des Steines am Gummiband in Wasser und können genotypische Analogien zu den übrigen Versuchen des Unterrichts herstellen. Einige Kinder brauchen als Rekonstruktionshilfe eine nochmalige Durchführung des Versuches. Alle Kinder sind in der Lage, auf die Frage, ob sie so etwas schon einmal irgendwo erfahren haben, erlebte Situationen zu nennen und zu deuten (Robustheit des neu aufgebauten Konzeptes). Fast alle Kinder nennen hier Erfahrungen mit dem

Heben von Personen im Wasser (vgl. Anhang, Tab.3, Stichwort Transfer). Im Unterricht selbst hatten die Schüler nur zögernd Alltagserfahrungen zugeordnet.

Alle Schüler führen die erfahrene Auftriebskraft auf den Druck des Wassers zurück. Häufiger wird auf den Handschuhversuch verwiesen, bei dem die Schüler das von allen Seiten drückende Wasser beobachten konnten. Warum letztlich die Auftriebskraft als Resultierende der wirkenden Druckkräfte nach oben gerichtet ist, wurde nicht geklärt. Phänomenal, d.h. sensomotorisch wird die Auftriebskraft als nach oben gerichteter Druck gegen Gegenstände wahrgenommen. Deshalb sprechen die Schüler auch vom Drücken des Wassers gegen den Stein usw. Diese sensomotorischen Erfahrungen am Beispiel verschiedener Gegenstände sind die Basis des neu aufgebauten Konzeptes (nur eine Schülerin, Me, hatte in der Vorbefragung davon gesprochen, daß das Wasser gegen das Schiff drückt und das irgendwie trägt).

Unterschiedlich ist die explizite Generalisierung des Phänomens. Einige Schüler formulieren auf hypothetischem Niveau „das Wasser drückt eigentlich auf alle Dinge“ (er meint die Auftriebskraft), auch wenn diese untergehen, „aber das sieht man halt nicht“ (J). Bei der Frage nach ähnlichen Erfahrungen antworten einige Schüler kategorisch (mein Bruder war im Schwimmbad leichter), einige hypothetisch (im Wasser ist eigentlich alles leichter).

Die Analyse der Gespräche im Unterricht zeigt, daß die Schüler zunächst jeden Versuch episodisch deuteten, bevor sie Analogien herstellten und die Auftriebskraft als Ursache ermittelten. Eine größere Anzahl verschiedener Versuche zum gleichen Prinzip scheint den Aufbau eines Konzeptes zu fördern, weil neue Konzepte dadurch probeweise aufgebaut und immer wieder getestet werden können. Solche Phänomenkreise⁷ verhindern auch eine Zentrierung auf zufällige Effekte oder Besonderheiten. In unserem Phänomenkreis stellte das Gummiband, an dem der Stein befestigt war, eine solche Besonderheit dar; es provozierte einige Fehldeutungen, weil die beobachtete Verlängerung des Gummis beim Herausziehen des Steines aus dem Wasser auf das „aktive“ Ziehen oder Festhalten des Wassers zurückgeführt wurde.

Insgesamt läßt sich feststellen, daß die Schüler das Phänomen wirkender Auftriebskräfte im Wasser erfahren haben, ihr Wissen zur Deutung von Versuchen benutzen können und ihr aufgebautes Konzept auch anwenden. Explizit wird das Phänomen zwar nicht physikalisch-begrifflich korrekt, aber doch kategorisch oder sogar hypothetisch formuliert.

⁷ Der Begriff „Phänomenkreis“ wurde von Spreckelsen geprägt (vgl. z.B. Spreckelsen 1995).

Daß der Druck eine Eigenschaft der entsprechenden Flüssigkeit ist, scheinen einige der Schüler auf phänomenaler Ebene ebenfalls verstanden zu haben, da sie die größere Auftriebskraft von Salzwasser erfaßt haben (vgl. Tab.3).

Auch die Anwendung des Auftriebskonzepts auf das Eisenschiff gelingt mehreren Schülern. Weil das Eisen verteilter ist, kann das Wasser überall drücken (He).

6.5 Schwimmen von Hohlkörpern (Knetversuche)

In der Vorbefragung zeigte sich, daß die meisten Kinder wissen, daß Knete z.B. schwimmt, wenn man aus der Knete eine Hohlform macht. Das Durchführen der Knetversuche, verbunden mit Wettbewerben und Geschichten (Piratengeschichte), das im anschließenden Unterricht noch einmal aufgenommen wurde, führte allerdings nicht zur Deutung des Schwimmens aufgrund der Auftriebskraft. Das Denken der Schüler zentrierte sich auf die Form der Boote, insbesondere auf den Rand und die Stabilität des Bodens. Auf die Frage, warum die größeren (gleich schweren Boote) besser schwimmen und mehr Gewicht tragen können, antworteten die Schüler fast durchweg final: Der höhere Rand verhindert, daß das Wasser rein kann, daß der Schatz runterfällt, man beim Schlafen runterkullert und die Sachen beim Wind herunterfallen; auch kann man mehr reinfüllen – eine Reihe überzeugender Gründe für die bessere Tragfähigkeit von Hohlkörpern in Abhängigkeit vom Volumen (bei gleicher Masse). Zugleich schien die Frage, „Wie kommt es, daß ein Schiff schwimmt“, einleuchtend beantwortet. Der bessere, höhere Rand wurde als alleinige, augenscheinliche Bedingung aufgefaßt; erst in den folgenden Stunden gelang es einigen wenigen Schülern, von der Höhe des Randes auf das Volumen des Schiffes überzuwechseln (das Schiff muß breit und hoch sein).

Selbst in der Nachbefragung wenden die Schüler bei der Präsentation zweier Boote mit gleicher Masse und gleich hohem Rand nicht das zuvor erinnerte Auftriebskonzept an; auch die Erfahrung mit den zwei verschiedenen Joghurtbechern, bei denen sie die unterschiedlichen Auftriebskräfte deutlich erspürten, führte nicht zu einer Analogiebildung.

Das Bewerten von Booten gleicher Masse und unterschiedlichen Volumens findet in einem anderen Kontext statt, der durch das Beladen gekennzeichnet ist. Es handelt sich um ein nicht integriertes Konzept, das sich einer Loslösung aus dem spezifischen Kontext enorm widersetzt.

6.6 Wasserverdrängung – Volumen – Auftriebskraft

Der Zusammenhang Wasserverdrängung – Auftriebskraft wird weniger generalisiert als das Phänomen „Auftriebskraft“. Die Schüler argumentieren überwiegend am konkreten Beispiel: Der große Becher braucht mehr Platz im Wasser, deshalb drückt das Wasser stärker. Einige formulieren allgemeiner: Umso größer der Becher, umso größer der Druck. Hier ist die Ebene der kategorischen Repräsentation erreicht. Ma formuliert hypothetisch: Das Wasser drückt um so mehr, je größer die Gegenstände sind. Ihr gelingt auch die Anwendung des Konzeptes bei der Deutung des Coladosenversuchs (die heile Coladose wird stärker gedrückt).

Nur wenige Kinder schließen von dem Überlaufversuch auf größere Wasserverdrängung und damit stärkere Auftriebskraft. Es scheint fast, als würde die Verknüpfung zweier Wenn-Dann-Aussagen die Kinder überfordern. (Statt dessen nennen sie Situationen, wo das Steigen des Wassers auch zu beobachten ist, z.B. in der Badewanne). Werden die Zusammenhänge verknüpft, dann überwiegend auf der konkreten Ebene: „Je größer der Becher, desto stärker der Druck, desto höher das Wasser“.

Da das Konzept Wasserverdrängung – Druck weniger generalisiert ist, gelingt die Übertragung auf das Eisenschiff, entgegen unserer Annahme, nur wenigen. So sagt Ma, weil Schiffe so groß sind, bekommen sie mehr Druck. Nur sehr wenige Schüler interpretieren die bessere Tragfähigkeit der größeren Knetboote durch Rückgriff auf das Druckkonzept; vielleicht deshalb, weil die Unterschiede in der Auftriebskraft kaum wahrgenommen werden können (oder weil sie die Knetschiffe in einen anderen Kontext einordnen).

Der Vergleich der Auftriebskraft bei gleich hohen Joghurtbechern mit unterschiedlichem Volumen war dagegen überzeugend. Mehrere Schüler gaben am Ende der Nachbefragung an, daß sie diesen Versuch – wenn sie selbst Lehrer wären – unbedingt durchführen würden (vgl. Tab.3, Stichwort überzeugende Versuche).

Einige Schüler führen die wahrgenommene Auftriebskraft auf das Verhalten des verdrängten Wassers zurück; dieses will wieder an seinen Platz, es drückt gegen den Becher.

6.7 Analyse der Strukturierungs- und Symbolisierungshilfen

Um die entgegengesetzt gerichteten Kräfte ‘Auftriebskraft’ und ‘Gewichtskraft’ zu veranschaulichen, schlugen wir den Schülern ein Spiel vor. Ein Schüler war der Stein (oder das Boot), ein anderer das Wasser, das nach oben drückt, der dritte das Gewicht, das nach unten zieht. Das Schwimmen

oder Sinken erfuhren die Schüler so als Ergebnis eines Wettkampfes: Beim Stein gewinnt das Gewicht, beim Boot das Wasser. Leider konnte das Spiel nicht in allen drei Lerngruppen gleich ausführlich durchgeführt werden. Auch gingen wir davon aus, daß der Begriff Gewicht den Schülern vertraut sei. Die Nachbefragung zeigt, daß das entsprechende Konzept nicht sicher ausgebildet war.

Dennoch erinnern sich 8 von 11 Kindern in der Nachbefragung an diese Deutung der Phänomene Schwimmen und Sinken. Einige Schüler verwenden das Spiel von sich aus bei der Begründung ihrer entwickelten Konzepte. In der Gruppe dieser Schüler war das Spiel sorgfältig durchgeführt und sprachlich gedeutet worden.

Um die Auftriebskraft symbolisch zu veranschaulichen, zeichneten wir im Unterricht nach dem Spiel von unten nach oben gerichtete Pfeile unter das Schiff, die die nach oben gerichtete Auftriebskraft signalisieren sollten; die Gewichtskraft wurde entsprechend mit nach unten gerichteten Pfeilen eingezeichnet. Nur drei Schüler bezogen von sich aus diese Pfeildarstellungen in ihre Argumentation ein; es ist aber nicht auszuschließen, daß die Pfeile die Symbolisierung des Spiels unterstützen und die Speicherung förderten.

Insgesamt scheinen die gewählten Hilfen den Aufbau des Konzeptes „Ein Eisenschiff schwimmt, weil...“ zu unterstützen.

6.8 Vergleich der Prä- und Postkonzepte zur Frage: Wie kommt es, daß ein Eisenschiff schwimmt?

In der folgenden Tabelle sind die erhobenen Prä- und Postkonzepte vergleichend nebeneinander gestellt. Die rechte Spalte enthält – unterteilt – die zu Beginn der Nachbefragung und am Ende der Nachbefragung geäußerten Vermutungen. Wie zu erwarten, orientierten sich die Schüler zunächst häufig an ihren ehemaligen Präkonzepten. Erst durch konkrete Hilfen (anwesende Gegenstände) und durch Aktivierung des episodischen und prozeduralen Wissens rekonstruierten die Schüler die bereits im Lernprozeß erworbenen Vorstellungen.

Präkonzepte		Postkonzepte (4-8 Mon. später)	
		erste Frage	letzte Frage
OI	Salz im Meer, weil das Meer so tief ist, wegen dem Wind, soviel Wasser im Meer	weil es innen hohl ist	weil es innen hohl ist

Präkonzepte		Postkonzepte (4-8 Mon. später)	
		erste Frage	letzte Frage
J	Schiff ist hohl – Luft im Schiff – Luft geht nicht unter	Wasserdruck!	Wasserdruck ist stärker als der Luftdruck, auf das „große“ Boot „drückt“ das Wasser mehr
Se	weil's hohl ist, rund herum zu ist	Klar, das ist der Luftdruck. Und von unten drückt es ja auch noch mal. Und es gibt noch die Erdanziehungskraft.	Das Wasser stößt das weg und Luft drückt runter.
Me	Schiff wird vom Wasser hochgedrückt	weil ein Hohlraum drin ist und dann die Luft das hochdrückt	Das Wasser drückt das Schiff, und deshalb bleibt das oben. Und weil dann auch noch ein Hohlraum da drin ist, schwimmt das noch besser.
Fl	Schiff besteht aus mit Teer bestrichenem Holz oder Eisen	weil es hohl ist	weil es innen hohl ist, das Gewicht verteilt ist und das Wasser drückt
Ve	wegen Radantrieb, weil das Schiff keine Löcher hat und hochgebogen ist	wenn Luft drin ist und die Wände hoch sind	wenn der Hohlraum größer ist, dann schwimmt es, desto stärker drückt das Wasser, dann schwimmt es besser
He	Lufträume im Schiff	Luftkammern	Wenn das Gewicht von oben in das Wasser drückt, dann drückt das Wasser von unten auch wieder dagegen. Und wenn das Gewicht dann gleichmäßig verteilt ist, dann schwimmt das Boot.

Präkonzepte		Postkonzepte (4-8 Mon. später)	
		erste Frage	letzte Frage
Ma	weil Luft drin ist (eingeschlossene Luft)	–	Die Luft ist doch nicht dran schuld. Das Wasser drückt nach oben, das Gewicht zieht nach unten und das Wasser gewinnt.
Ju	Gleichgewicht, vielleicht Luft drin, Luft muß unterm Schiff sein (Pontonvorstellung), drin muß 'ne Kuhle mit Luft sein	wegen der Boje, wo innen Luft drin ist	Dann kann es an der Luft nicht liegen. Es schwimmen all die Sachen, wo der Druck gewinnt, gegen das Gewicht.
Ki	Es liegt am Motor: weiß keine Erklärung, weil es keine Segel und Ruder hat	Das Wasser drückt, und das Gewicht zieht (auswendig gelernt), An den Hohlräumen, an der Fracht	Das Schiff zieht nach unten, und das Wasser drückt das Schiff nach oben.
Mn	Hohlraum	weil das Wasser stärker ist als der Druck des Schiffes	weil der Wasserdruck stärker ist als der Gewichtsdruck

Tab. 1 Prä- und Postkonzeptvergleich zur Frage: „Wie kommt es, daß ein eisernes Schiff schwimmt?“

Von 11 Schülern konnte O sich an erarbeitete Deutungen nur teilweise erinnern; J und Se sprechen zwar vom Wasserdruck, verwechseln die entgegengesetzt gerichtete Gewichtskraft aber – vielleicht in Analogie zum Wasserdruck – mit Luftdruck. Die Schüler He, Ma, Ju, Ki und Mn erklären das Schwimmen durch zwei entgegengesetzt gerichtete Kräfte. Die letzten drei Schüler beziehen das Drücken des Wassers, teilweise nur intuitiv, auf das verteilte Gewicht des Schiffes.

Insgesamt zeigen die Postkonzepte, daß bei 10 Schülern ein Conceptual Change insofern stattgefunden hat, daß nicht mehr das Schiff allein, die Luft, das Material, Ruder, Segel, Teer o.ä. als Ursache des Schwimmens angesehen werden, sondern dem Wasser eine aktive Rolle zugesprochen wird.

Daß die Schüler nicht von der Kraft des Wassers, sondern umgangssprachlich vom Druck sprechen, ist m.E. nicht so schwerwiegend. Das physikalisch exakte Auftriebskonzept läßt sich aus dem im Unterricht aufgebauten Verständnis entwickeln.

7. Zusammenfassung der Ergebnisse

Teilhypothese 1:

Die von den Schülern geäußerten Theorien zum Schwimmen und Sinken wurden adäquater.

Teilhypothese 2:

Ein intuitives Dichtekonzept zeigt sich bei der Mehrzahl der Schüler schon in der Vorbefragung. Im Laufe des Lernprozesses gelingt es einigen Schülern, ihr zunächst kaum explizierbares Konzept sprachlich differenzierter darzustellen (wenn das Gewicht [gemeint ist die Masse] über einen größeren Raum verteilt ist, ist das leichter). Durch Bedeutungs-differenzierungen in den Begriffen „schwer“ und „leicht“ gelingt es ihnen, widersprüchliche Aussagen auszuräumen (Beispiel Ol).

Teilhypothese 3:

Entgegen der Annahme hat bei zwei Kindern ein Konzeptwechsel zur Lufttheorie stattgefunden (J und Ma). Bei Ma betrifft dieser Konzeptwechsel sogar tief verwurzelte, soziale Überzeugungen (meinst du, meine Mutter ist blöd?), die sie im Lernprozeß über einen längeren Zeitraum verteidigt. Daß ein Konzeptwechsel erreicht wurde, führen wir darauf zurück, daß Ma einerseits ihr Präkonzept ausgiebig testen konnte und dabei auf Widersprüche stieß (die Knetkugel mit Luft im Innern ging unter), andererseits die neu aufgebauten Konzepte (Auftriebskraft, Wechselspiel von Auftriebs- und Gewichtskraft) zu überzeugen vermochten.

Ein ebenfalls expliziter Konzeptwechsel ist bei Fl festzustellen. In der Nachbefragung erklärt Fl, seine Teerhypothese vom Anfang (die einen hohen Status hatte) „stimme nicht“.

Teilhypothese 4:

Entgegen der Annahme formulieren einige Schüler das Auftriebskonzept noch auf der episodischen (das Wasser drückte den Becher hoch) oder kategorischen Ebene (bei meinem Bruder im Schwimmbad ist es genauso). Wenige Schüler formulieren im Verlauf des Lernprozesses hypothetisch (das Wasser drückt auf alle Dinge). Allerdings zeigt die durchweg vorhandene Fähigkeit, das Druckkonzept auf neuartige Situationen anzuwenden (Schiff im Meer/ Schiff im Süßwasser), daß ein zumindest kategoriales Wissen vorhanden sein muß, auch wenn sich dieses sprachlich noch auf der episodischen Ebene äußert.

Schwieriger stellte sich die Anwendung des Wissens auf das Schwimmen von Schiffen dar. Nur wenige Schüler benutzen das Auftriebskonzept explizit zur Deutung des Schwimmens der Knettschiffe. Möglich wäre, daß die Bindung des neu aufgebauten Konzeptes an den Kontext der einzelnen Versuche (Stein, Becher) so stark ist, daß sie einem Transfer im Wege steht. Ein weiterer Grund könnte darin liegen, daß die Auftriebskraft beim Eintauchen der Knetboote wegen ihres geringen Volumens kaum zu spüren ist. Großvolumigere Schiffskörper (Plastikschiffe aus dem Modellbau o. ä.) könnten vielleicht den Transfer begünstigen.

Teilhypothese 5:

Die Beziehung Wasserverdrängung – Auftriebskraft wird im Verlauf des Lernprozesses, weniger in der Nachbefragung, von einigen wenigen Schülern hypothetisch formuliert: Je größer die Gegenstände, um so mehr drückt das Wasser. Dabei beziehen sich die Schüler eher auf die beim Hereindrücken unterschiedlich volumiger Becher ins Wasser erspürte Auftriebskraft, als auf die beim Eintauchen verdrängte Wassermenge. Die Verknüpfung „je mehr Volumen – desto mehr Wasserverdrängung – desto mehr Auftriebskraft“ wird nur vereinzelt – und dann auch nur episodisch – hergestellt. Die Verknüpfung zweier Wenn-Dann-Aussagen scheint die Kinder zumindest sprachlich zu überfordern.

Vermutlich hat auch die Versuchsreihe der bei gleicher Masse unterschiedlich volumigen Knetboote die Schüler nicht überzeugt; vielleicht waren die erspürten Unterschiede zu gering, um zweifelsfreie Wahrnehmungen zu ermöglichen.

Teilhypothese 6:

Obwohl das als Strukturierungshilfe gedachte Kräftespiel (Auftriebskraft/ Gewichtskraft) nicht in allen Lerngruppen gleichermaßen gründlich erarbeitet wurde, bezogen sich acht von elf Kindern bei der Frage nach dem Schwimmen bzw. Sinken auf das Kräftespiel. Bei einer sorgfältigeren Erarbeitung, die sich auch auf die Gewichtskraft beziehen müßte, würde diese Symbolisierungshilfe vermutlich noch strukturierender wirken. Hilfreich scheint insbesondere die Kopplung von sensomotorischen Wahrnehmungen (ziehen/ drücken) und symbolisierender Pfeildarstellung zu sein.

Gesamthypothese:

Der Vergleich der Prä- und Postkonzepte zeigt, daß bei allen Schülern adäquatere Konzepte (i. S. der Hypothese) aufgebaut werden konnten. Deutlich wird aber auch, daß die erzielten Lernergebnisse starke individuelle Unterschiede aufweisen. Die Bewertung des erreichten Lernfortschritts, insbesondere vor dem Hintergrund des erfolgten, vor allem zeitlichen, Aufwandes, muß unter normativen Kriterien und unter Berücksichtigung weiterer Zielsetzungen, wie Motivierung, Interessenförderung, Selbstkonzept usw. erfolgen.

8. Folgerungen für die Gestaltung von Lehr-Lernsituationen

Als hilfreich für den Aufbau neuer Konzepte bzw. für die Differenzierung vorhandener Präkonzepte haben sich die Versuche zum Schwimmen von Vollkörpern und die Versuche zur Auftriebskraft erwiesen. Zeitlich sollte der Aufbau beider Konzepte voneinander getrennt werden. Der Aufbau eines stabilen Materialkonzeptes bei Vollkörpern (z. B. Vollkörper aus Eisen sinken) ist Voraussetzung für das Erleben eines kognitiven Konfliktes beim schwimmenden Eisenschiff. Das Materialkonzept bei Vollkörpern bedarf, selbst noch in einer vierten Schulklasse, einer gründlichen Durcharbeitung anhand einer Vielzahl von Fällen.

Der Aufbau des Konzeptes Auftrieb sollte erfolgen, bevor die Frage nach dem Schwimmen von (Eisen-)Schiffen gestellt wird (z. B. eingebettet in das Thema: Eigenschaften von Flüssigkeiten). Auftriebskräfte können in unterschiedlichen Situationen und an unterschiedlichen Gegenständen wahrgenommen werden, im Schwimmbad, in der Badewanne, im Wasserbecken. Hierzu sollte der Unterricht noch mehr – als in unserem Lernarrangement –

Gelegenheit geben. Die Auswertung der über einen längeren Zeitraum durchgeführten Versuche und Beobachtungen ermöglicht die Identifizierung des Wassers als Ursache der Auftriebskraft – ein Kontextwechsel vom Schiff zum Wasser ist hier nicht erforderlich. Anhand besonderer Flüssigkeiten (z. B. Salzwasser, Öl) könnte die Abhängigkeit der Auftriebskraft von der spezifischen Flüssigkeit erarbeitet werden; auch hier lassen sich eine Reihe überzeugender Versuche mit entsprechenden Alltagserfahrungen verknüpfen (Ankerkonzepte).

Das in der Form „das Wasser drückt Gegenstände nach oben“ aufgebaute Auftriebskonzept könnte in einem zweiten Schritt auf das Schwimmen und Sinken von Gegenständen übertragen werden, indem die entgegengesetzt wirkenden Kräfte (Gewichtskraft vs. Auftriebskraft) in symbolischer und spielerischer Form erarbeitet werden. Dieses „Gegenspiel“ kann auf Voll- wie auch auf Hohlkörper angewendet werden. Das Schwimmen des eisernen Schiffes könnte dann als Sonderfall gedeutet werden.

In einem letzten Schritt, vermutlich nicht mehr für alle Schüler, könnte in qualitativer Form die Abhängigkeit der Auftriebskraft vom Volumen erarbeitet werden (z. B. durch gut wahrnehmbare Unterschiede beim Auftrieb von schiffsähnlichen Körpern unterschiedlichen Volumens).

Ein alternativer Weg für diesen letzten Schritt wäre i. S. Bucks das Anknüpfen am intuitiven Dichtekonzept der Schüler: Ein beim Schiff besser „verteiltes Gewicht“ kann vom Wasser „besser“ getragen bzw. hochgedrückt werden.

Das Herstellen von Knetschiffen am Anfang des Unterrichts scheint eine kontraproduktive Wirkung zu haben; es fixiert den Blick und die Begründung auf den Kontext Laderaum und Ladefähigkeit und verhindert den notwendigen Kontextwechsel; die Bedeutung des Wassers wird ausgeblendet. Vielleicht könnte das Herstellen von Hohlkörpern am Ende des Unterrichts zu einer Bestätigung und Absicherung der aufgebauten Konzepte führen, wenn die nach oben gerichtete Kraft schon sicher konzeptualisiert wurde.

Im Gegensatz zum in der Literatur und in der Schulpraxis häufigen Vorgehen schlagen wir aufgrund der Ergebnisse folgende Strukturierung vor:

- Aufbauen neuer Konzepte bzw. Differenzierung vorhandener Konzepte durch Anknüpfungsstrategien; Anknüpfung an sensomotorische Erfahrungen (Vollkörper-Versuche, Auftriebsversuche)
Ziel: Aufbau gesicherter Konzepte
- Anwendung des gesicherten Auftriebskonzeptes auf das Schwimmen/Sinken von Körpern durch Vergleich der wirkenden Kräfte („Wer gewinnt-Spiel“; Voraussetzung: Gewichtskraft wurde bereits erarbeitet)

- Anwendung des Auftriebs- und Gewichtskonzeptes auf den kognitiven Konflikt „Wie kommt es, daß ein eisernes Schiff schwimmt?“
- Differenzierung dieses Konzeptes im Hinblick auf den Zusammenhang Volumen des eingetauchten Körpers/ Wasserverdrängung/ Auftriebskraft (nur noch für einige Schüler).

9. Zur Bewertung der Lehr-Lernsituationen durch die Schüler

Die Befragungsergebnisse nach 3 bis 4 Monaten zeigten eine hohe Akzeptanz des Unterrichts und eine hohe Lernzufriedenheit. Was schätzen Schüler an einem Unterricht, der von ihnen wesentlich mehr geistige Anstrengung verlangt als der übliche Sachunterricht? Diese Frage beantwortete ein Schüler in der Nachbefragung so: „Die Lehrer wollen immer so viele Themen durchnehmen, sie denken, das müssen sie in einer gewissen Zeit schaffen. Gründlich sollte man ein Thema durchnehmen... Das letzte (Thema in der Klasse) war nämlich nur noch gefuscht, und dabei hat man nichts gelernt.“

Gründlichkeit und Geduld brauchen wir in der Grundschule, wenn wir das Lernen von Naturwissenschaften als einen Weg betrachten, auf dem Lernende auf der Basis von Erfahrungen und im Gespräch mit Mitschülern und Lehrern adäquatere Konzepte zur Deutung von Phänomenen entwickeln.

Noch einmal die Frage: Was schätzen Schüler an einem solchen Unterricht? Vielleicht, daß man sie in ihrem Denken ernst nimmt und das Denken zum Gegenstand von Unterricht macht?

Nicht alle Schüler nahmen die Freiräume für geistige Aktivität und individuelle Lern- (und Irr-) wege uneingeschränkt positiv wahr. Vereinzelt (explizit bei Ol, vielleicht auch bei Me und Ve) vermißten die Schüler eindeutige Antworten der Lehrperson auf offene Fragen und subjektive Deutungen (nun sag mir doch endlich mal, was richtig ist). Die Lernzufriedenheit sollte in weiteren Untersuchungen daher noch differenzierter analysiert werden.

10. Folgerungen für weitere Untersuchungen

Die dargestellte Untersuchung ist in den Bereich der Entwicklungsforschung einzuordnen. Ihre Ergebnisse erlauben begründete Folgerungen für die didaktische Strukturierung bereichsspezifischer moderat konstruktivistisch orientierter Lernumgebungen. Da die Untersuchung auf geringen Fallzahlen beruht und in Kleingruppen durchgeführt wurde, sollte das entwickelte Lehr-Lernarrangement in einem zweiten Schritt mit größeren Fallzahlen und unter realen Klassenbedingungen durchgeführt werden; dabei könnte auf die aufwendigen Lehr-Lernprozeßuntersuchungen zugunsten größerer Fallzahlen verzichtet werden.

Zu erheben wären in diesem Fall die individuellen Prä- und Postkonzepte vor bzw. nach dem Unterricht; der Unterricht wäre in Form des variierten Lehr-Lernarrangements im Klassenverband durchzuführen.

Ergebnisse dieses zweiten Untersuchungsschrittes führen ggfs. zu einer erneuten Variation des Lehr-Lernarrangements; unter Umständen lassen die Ergebnisse auch weitere Lehr-Lernprozeßanalysen als notwendig erscheinen.

Welchen Aussagewert haben diese qualitativ-quantitativen Untersuchungen? Sie erlauben eine Diagnose der individuell erreichten Lernfortschritte unter den Bedingungen moderat konstruktivistisch orientierter Lernumgebungen. Unter Einbezug weiterer Zielsetzungen des Unterrichts, wie Förderung von Motivation und Interesse, Aufbau positiver Selbstkonzepte und Schaffen von Lernzufriedenheit und Lernfreude, lassen sich multikriteriale Zielsetzungen moderat konstruktivistischer Lernumgebungen überprüfen.

Von der Entwicklungsforschung zu unterscheiden sind Wirksamkeitsuntersuchungen im Rahmen der Forschungen zur Unterrichtsqualität. Erst ein Vergleich individueller Lernfortschritte in moderat konstruktivistisch orientierten Lernumgebungen mit Lernfortschritten in ausgesprochen offenen bzw. instruktiv orientierten Lernumgebungen würde – bei gleichzeitiger Berücksichtigung und Erfassung multikriterialer Zielsetzungen – Aussagen über die Wirksamkeit spezieller Arrangements ermöglichen (vgl. hierzu Einsiedler 1997, insbes. S. 27-30). Auch diese Ergebnisse müßten bei ihrer Interpretation normative Kriterien berücksichtigen und offenlegen: Eine Gewichtung der kognitiven, emotionalen und persönlichkeitsbezogenen Zielbereiche ist nur unter Einbezug normativer Kriterien möglich.

Unsere Voruntersuchungen legen die Annahme nahe, daß moderat konstruktivistisch orientierte Lernsituationen durch die Ermöglichung individueller Lernwege, durch eine die Vorerfahrungen und Denkweisen der Schüler berücksichtigende, didaktische Strukturierung und durch den Wechsel zwischen problemorientierten hinführenden bzw. auswertenden

Gesprächsphasen, offenen Lernphasen mit Werkstattcharakter und strukturierenden Lehrerhilfen o.g. Zielsetzungen erreichen.

Diese Annahme müßte in Vergleichsstudien überprüft werden. Dabei wären moderat konstruktivistisch orientierte Lehr-Lernsituationen mit solchen zu vergleichen, die durch die Merkmale „ausgesprochen starke Lehrersteuerung mit geringer Ausprägung selbstgesteuerten Lernens“ (= instruktive Lernumgebung) bzw. „geringe Lehrersteuerung mit starker Ausprägung selbstgesteuerten Lernens“ (= offene Lernumgebung) gekennzeichnet sind. Der Forschungsansatz ließe sich auch spezifizieren im Hinblick auf spezielle Schülergruppen, z.B. leistungsstarke und leistungsschwache Schüler, jüngere bzw. ältere Grundschüler, Schüler mit und ohne Sachinteresse, mit positivem bzw. negativem bereichsspezifischen Selbstkonzept usw. Da der Untersuchungsaufwand erheblich ist, schlägt Einsiedler (1997) vor, zur Bearbeitung solch komplexer Untersuchungen Forschungsverbände einzurichten.

11. Zum Abschluß: Was ist neu an der moderat konstruktivistischen Sichtweise?

Antworten auf diese Frage schwanken zwischen der Einschätzung, diese Sichtweise bezeichne eine „neue Lerntheorie“ und gehe mit einer „neuen kognitiven Wende“ einher und der Einschätzung, moderat konstruktivistische Ansätze stellten eine Verwässerung radikal konstruktivistischer Positionen dar und verlören dadurch ihre erkenntnistheoretische Grundlage.

Beide Positionen sind zu kritisieren: „Die“ neue Lerntheorie gibt es nicht. Innerhalb der Lehr-Lernforschung setzt sich zunehmend die Meinung durch, theoretisch unterschiedlich fundierte Sichtweisen des Lernens unter komplexen Aspekten zu sehen (Duit 1997). Moderat konstruktivistisch orientierte Sichtweisen verknüpfen klassische Konzeptwechseltheorien mit sog. heißen Theorien und sozial-konstruktivistischen Perspektiven des Wissenserwerbs; neben den Präkonzepten nehmen die sozialen und materiellen Gegebenheiten wie auch die emotionalen Befindlichkeiten Einfluß auf die je individuellen Konstruktionen (vgl. Möller 1997). Diese aus verschiedenen Wissenschaftsbereichen stammenden Theorien stehen zueinander nicht in einer bloß additiven Beziehung. Ihr gemeinsamer Kerngedanke ist die *Bedeutung der eigenen Aktivität als Voraussetzung für den Aufbau von Wissenskonstruktionen*. Neu an der moderat konstruktivistischen Sichtweise ist nicht der Kerngedanke; dieser findet sich z.B. bereits bei Piaget in der

kognitiven Psychologie. Auch sozial-konstruktivistische Sichtweisen haben einen Vorläufer in der Theorie Wygotskis. Das „Neue“ an der moderat konstruktivistischen Sichtweise des Lernens ist die Bündelung theoretischer Sichtweisen aus verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen unter einem gemeinsamen Kerngedanken.

Zum Vorwurf der fehlenden erkenntnistheoretischen Grundlage: Der moderate Konstruktivismus verzichtet, anders als der radikale Konstruktivismus, auf die Diskussion der Frage, in welchem Verhältnis die Konstrukte zur realen Welt stehen. Der Verzicht auf diese Aussage bedeutet aber weder die „Rückkehr“ zum Falsifikationsprinzip des Kritischen Rationalismus noch zum Subjektivismus. An die Stelle der Falsifikation zur Prüfung theoretischer Aussagen tritt das Prinzip der Viabilität, der Brauchbarkeit. Die Aussagen, die auf der Basis moderat konstruktivistischer Theorieansätze getroffen werden, werden nicht auf ihren Wahrheitsgehalt, sondern auf ihre Viabilität hin überprüft. Der Empirie kommt dabei die Bedeutung zu, die Bewährung von Theorien im Forschungsfeld intersubjektiv zu prüfen.

Die Frage nach der Brauchbarkeit schließt Wertentscheidungen mit ein. Diese normative Komponente moderat konstruktivistischer Sichtweisen ist offenzulegen.

Für die auf die Grundschule bezogene, bereichsspezifische Lehr-Lernforschung besteht die Fruchtbarkeit dieses Ansatzes für mich in seiner Inklusivität: Die moderat konstruktivistische Sichtweise verknüpft die Bedeutung individuellen Lernens und der eigenen Aktivität mit der Bedeutung sozialen Lernens, geeigneter materieller Lernumgebungen und geeigneter Lehrinterventionen; der entsprechende Unterricht zielt auf Autonomie durch Unterstützung; er betrachtet Lernen als kognitiven, sozialen und emotionalen Akt und verfolgt neben kognitiven Zielen immer auch Ziele im emotionalen wie auch im Persönlichkeitsbereich.

Anhang

Schüler:	5 Mädchen, 6 Jungen, Kl. 4			
Vorbefragung und Unterricht:	Januar/ Februar 1997			
Nachbefragung:	Juni/ Oktober 1997			
Design:	A.	Vorbefragung in strukturierten Einzelinterviews durch 11 Interviewer (Dauer 30-60 min)		
	B.	Lehr-Lernsituationen:		
	0.	Einführung (Gesamtgruppe)		
	1.	Gruppe 1 (3 Kinder)	Gruppe 2 (4 Kinder)	Gruppe 3 (4 Kinder)
	2.	"	"	"
	3.	"	"	"
	4.	"	"	"
	5.	Auswertung (Gesamtgruppe)		
	C.	Nachbefragung in strukturierten Einzelinterviews durch 11 Interviewer (Dauer: 30 min - 60 min)		

	Präkonzepterhebung				Lehr-Lernprozeß	Postkonzepterhebung
	Holzklötz	flache Eisenplatte	langer Eisendraht	Spitze einer Stecknadel		
	- falsche Antwort () richtige Antwort ohne Begründung oder unsichere Beantwortung + richtige Antwort mit Begründung				Anzahl der kategorialen oder hypothetischen Äußerungen zur Materialabhängigkeit in der sich anschließenden Lehr-Lernsituation, davon in Klammern Zahl der Äußerungen, die explizit auf ausgeräumte kognitive Konflikte Bezug nehmen	- falsche Antwort + richtige Antwort 0 nicht befragt
He	-	-	()	+		
J	()	-	+	+	6(3)	0
Me	-	-	-	+	-	-
OI	-	-	()	()	1	+ -
Ma	-	-	()	()	4	+ -
Se	+	-	-	()	3	+
Ju	+	-	+	+	2	+
Ki	-	()	-	()	3	-
Fl	()	-	-	-	1	+
Mn	-	+	-	-	1	+ -
Ve	-	-	-	-	-	-

Abb. 2: Adäquanz der Vorhersagen zum Schwimmen und Sinken von Vollkörpern

Abb. 3: Analyse der Prä- und Postkonzepte⁸

Präkonzepte FI	Postkonzepte FI
<ul style="list-style-type: none"> • <u>These (Anfang):</u> Das Schiff schwimmt, weil <i>das vielleicht so mit ... Teer oder so bestrichen ist.</i> • <u>Knetkugel:</u> ⇒ zunächst: Münzen werden einzeln in die Knete eingewickelt; dann: Knetboot • <u>Holzklotz:</u> schwimmt • <u>Eisenholz:</u> schwimmt • <u>Eisendraht:</u> schwimmt • <u>Drahtspitze:</u> schwimmt • <u>Eisenblech:</u> schwimmt; um das Blech zum Schwimmen zu bringen, muß man es mit Wachsmalkreide anmalen oder mit Teer umhüllen. <u>Begründung:</u> In der Pfadfindergruppe wurden Schiffe gebaut, die mit Wachsmalkreide angemalt wurden. Durch den Anstrich kann das Wasser nicht eindringen. • <u>Coladose:</u> Die zusammengedrückte Hälfte hat mehr Gewicht. • <u>These (Ende):</u> Eine Eisenschraube kann dann schwimmen, wenn man die Löcher abdeckt und sie mit Teer umhüllt. <p>→ Die 'Teertheorie' ist sehr stabil, denn sie findet vielfältige Anwendungen und ist für FI logisch und plausibel. Die Erfahrung bei den Pfadfindern war sehr prägend für FI.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <u>These (Anfang):</u> <i>Weil es innen hohl ist und wenn da Luft drin ist, dann schwimmt es.</i> Weitere Ursachen: Gewichtsverteilung und Druck des Wassers; <u>Lernprozeß:</u> 'Teertheorie' verworfen • <u>Stein am Gummib.::</u> zunächst 'falsche' Erinnerung ⇒ erst durch Ausprobieren richtige Deutung • <u>Analogien:</u> Stein an der Angel, Gr.-kl. Becher, Coladose • <u>'Gegenstände':</u> richtige Vermutungen (Lernprozeß) • <u>Transfer:</u> Wasser will das 'Bein' in der Badewanne hochdrücken • <u>Kräftepiel:</u> unvollständige Erinnerung • <u>Zwei Boote:</u> zunächst: 'kleines' Boot (Randtheorie); dann: 'größeres' Boot: mehr Platz zum Transportieren, mehr Hohlraum; nach dem Hinweis, daß ein schweres Goldstück transportiert werden soll: 'kleines Boot' • <u>Großer – kleiner Becher:</u> Wasserstand steigt beim gr. Becher mehr; beim gr. Becher auch stärkerer Druck; je mehr Platz der Becher im Wasser braucht, desto mehr Druck – desto höher steigt der Wasserstand • <u>Begriff Platz:</u> Je mehr Platz ein Schiff braucht, <i>um so mehr steigt das Wasser [...] um so mehr drückt das Wasser</i> • <u>These (Ende):</u> Hohlraum, Wasserdruck (von unten und von den Seiten), 'der Platz muß gut verteilt sein' <p>→ Das mehrmalige Überprüfen zeigt, daß FI die 'Teertheorie' verworfen hat. An Status gewonnen hat die Hohlraumtheorie. Auch der Wasserdruck und das Prinzip der Gewichtsverteilung sind für FI sehr wichtig.</p>

⁸ Kursiv gedruckte Äußerungen sind wörtlich zitiert. Die Tabellen wurden im Rahmen einer Schriftlichen Hausarbeit von Sandra Schulze-Hobbeling erstellt.

Präkonzepte He	Postkonzepte He
<ul style="list-style-type: none"> • <u>These (Anfang):</u> Das (meint das Schiff) hat vielleicht Lufträume. (Lufttheorie) • <u>Knetkugel:</u> ⇒ Knetboot; He glaubt allerdings nicht, daß sein Boot schwimmt. Er erhöht den Rand seines Bootes, damit das nicht so schnell untergeht. • <u>Holzstange:</u> Die Stange schwimmt, weil Holz eben schwimmt. • <u>Holzklotz:</u> sinkt; als der Klotz schwimmt, behauptet He: Es bleibt Holz. • <u>Eisenholz:</u> schwimmt; als das Holz sinkt, behauptet He: Weil sich die Adern vollsaugen. (Ad-hoc-Konstruktion) • <u>Eisenblech:</u> schwimmt; He ist erstaunt, als das Blech sinkt. • <u>Eisendraht:</u> sinkt (Lernprozeß); der Draht sinkt, weil er die falsche Form besitzt und weil keine Luft drankommt. (Lufttheorie) • <u>Drahtspitze:</u> sinkt; denn der Draht bleibt ein Draht • <u>Coladose:</u> Die zusammengedrückte Hälfte sinkt, weil sie keinen Luftraum hat, und die andere Hälfte schwimmt, weil sie einen dünneren Boden hat. • <u>Joghurtbecher:</u> He ist erstaunt, als der mit Wasser gefüllte Becher sinkt, aber er hat dafür keine Erklärung. • <u>These (Ende):</u> Wenn man die Eisenplatte so zusammen macht, dann ist ja innen drin Luft. → He's Lufttheorie konnte nicht erschüttert werden. 	<ul style="list-style-type: none"> • <u>These (Anfang):</u> Wenn das Gewicht vom Schiff schwerer ist, dann wird das Wasser ja weggedrückt. <u>Weitere Ursachen:</u> wegen der Luftkammern; das Gewicht muß gleichmäßig auf beiden Seiten verteilt sein; Hohlraumtheorie; Formtheorie • <u>'Gegenstände':</u> richtige Vermutungen; der Eisendraht sinkt, weil das Metall halt einfach nicht verteilt ist; Knetplatte sinkt, weil das Wasser dann hier oben draufkommt (Wasserdruck von oben) • <u>Stein am Gummib.:</u> auf Antrieb angemessene Deutung: Dann drückt das Wasser von unten, (das) der Stein verdrängt. • <u>Analogien:</u> Stein an der Angel, Gummihandschuh, Gr.-kl. Becher • <u>Transfer:</u> beim Spülen steigt der Wasserstand; • <u>Ursache d. Auftriebskr.:</u> Dann drückt das Wasser von unten, (das) der Stein verdrängt. • <u>Kräftespiel:</u> korrekte Erinnerung; Bsp. Holzklotz: Das Wasser drückt von unten und das Gewicht von oben. Und dann entsteht so ein gleicher Druck, und dann schwimmt es. • <u>Überprüfung Lufttheorie:</u> Die Luft drückt das Boot ja auch nach oben. • <u>Zwei Boote:</u> 'größeres' Boot ⇒ es verbraucht mehr Platz, und um so mehr drückt dann auch von unten • <u>Großer – kleiner Becher:</u> Beim kl. Becher ist das Wasser weniger gestiegen, weil der ja auch nicht so viel Platz im Wasser verbraucht; 'beim kl. Becher ist der Druck nicht so stark • <u>allgemeiner Satz:</u> Wenn das Gewicht von oben in das Wasser drückt, dann drückt das Wasser von unten, und wenn das Gewicht dann gleichmäßig verteilt ist, dann schwimmt das Boot. (dazu korrekte Schemazeichnung) • <u>Begriff Platz:</u> 'Platzbegriff' vorhanden • <u>These (Ende):</u> siehe auch allg. Satz; Wenn das Gewicht ins Wasser drückt, dann ist der Wasserdruck entweder genauso stark, oder stärker, und dann schwimmt das Boot. • <u>überzeugende Versuche:</u> Schemazeichnungen (Kräftepiel), Stein, Becher → Die Luft wird nicht mehr als alleiniger 'Verursacher' gesehen. He hat, physikalisch gesehen, ein sehr angemessenes Konzept zum Thema „Schwimmen und Sinken“ entwickelt .

Präkonzepte J	Postkonzepte J
<ul style="list-style-type: none"> • <u>These (Anfang):</u> <i>Ja, .. das Schiff ist hohl halt. [...] darin ist ja noch Luft, und Luft geht ja nicht unter. (Lufttheorie)</i> • <u>Knetkugel:</u> ⇒ Knetboot • <u>Holzstange:</u> schwimmt, weil sie leichter ist als Metall (Gewichtstheorie) • <u>Holzklötz:</u> schwimmt • <u>Eisenholz:</u> sinkt • <u>Eisenblech:</u> schwimmt, weil es flach ist (Formtheorie) • <u>Eisendraht:</u> sinkt: <i>Weil's auch aus Eisen ist.</i> (Lernprozeß ⇒ Materialtheorie) • <u>Drahtspitze:</u> sinkt (Materialtheorie) • <u>Zwischenthese:</u> Das Schiff schwimmt wegen der Luft, denn Luft geht ja nicht unter. • <u>Coladose:</u> Die zusammengedrückte Dosenhälfte geht unter, weil <i>da keine Luft drin ist.</i> Die andere Hälfte schwimmt, weil sie rund geformt ist (Formtheorie). • <u>Joghurtbecher:</u> Zunächst behauptet der überraschte J, daß sich im Joghurtbecher noch Luft befindet. Dann stellt er fest: <i>Halt so'n Stoff, der schwimmt.</i> (Materialtheorie) • <u>These (Ende):</u> Zunächst beginnt J wieder, mit der Lufttheorie zu argumentieren. Dann stellt er die These auf, daß das Schiff auf der Abbildung schwimmt, weil es Öl geladen hat. J weiß von Beobachtungen am Gievenbach, daß Öl auf dem Wasser schwimmt. <p>→ J scheint mehrere Konzepte nebeneinander zu besitzen, die alle einen ähnlichen Status haben. Das Konzept des Hohlkörpers, der mit schwimmenden Stoffen gefüllt ist, scheint für ihn besonders logisch und plausibel zu sein. Die Lufttheorie wurde durch den Versuch nicht erschüttert, da er sie weiterhin anwendet und auch ausdifferenziert.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <u>These (Anfang):</u> Wasserdruck, Analogie zur Coladose • <u>Stein am Gummib.:</u> auf Anhieb richtige Deutung • <u>Ursache d. Auftriebskr.:</u> Wasserdruck; J problematisiert, daß der Wasserdruck auch auf sinkende Vollkörper einwirkt: Das Wasser drückt <i>eigentlich auf alle Dinge, aber das sieht man halt nicht.</i> • <u>'Gegenstände':</u> Die Knetkugel sinkt, <i>weil das zusammen ist und da kaum Lufträume drin sind [...] und weil das auch nicht so geformt ist</i> (Halbkreis). Wasserdruck drückt bei Knetboot stärker als bei der Knetkugel, weil <i>das jetzt breiter ist, und halt weil Lufträume drin sind.</i> Knetplatte sinkt, weil kein Rand vorhanden ist • <u>Kräftepiel:</u> <i>Luftdruck drückt von oben und Wasserdruck von unten.</i> J meint mit <i>Luftdruck</i> die Gewichtskraft. • <u>Analogien:</u> Becher, • <u>Großer – kleiner Becher:</u> bei 'größerem' Becher stärkerer Wasserdruck und steigender Wasserstand ⇒ Ursache: größere Fläche • <u>Transfer:</u> In der Badewanne <i>wird man leichter.</i> • <u>Überprüfung Lufttheorie:</u> J stellt fest, daß 'es' nicht nur an der Luft liegt. • <u>Zwei Boote:</u> 'größeres' Boot, <i>weil darauf drückt das Wasser mehr</i> • <u>Begriff Platz:</u> Je mehr Platz ein Schiff braucht, <i>desto mehr geht das Wasser hoch.</i> • <u>These (Ende):</u> J fertigt Schemazeichnung an (ähnlich wie im Unterricht): <i>Also, das ist der Luftdruck. Der drückt ja nach unten. Aber der Wasserdruck ist stärker.</i> ⇒ Das Schiff schwimmt. • <u>überzeugende Versuche:</u> Piratengeschichte, Knetschiffchen formen, Coladose <p>→ Die Luft wird nicht mehr als alleiniger 'Verursacher' gesehen. Die 'Wasserdrucktheorie' scheint sehr stabil zu sein. Der Vergleich von Auftriebs- und Gewichtskraft erfolgt, bis auf die falsche Begrifflichkeit ('Luftdruck'), korrekt. Der Ausdruck 'Luftdruck' zeigt, daß J das neue Wissen an die bereits vorhandene Lufttheorie angeknüpft hat.</p>

Präkonzepte Ju	Postkonzepte Ju
<ul style="list-style-type: none"> • <u>These (Anfang)</u>: Ein Schiff schwimmt wegen des 'Gleichgewichts'. • <u>Knetkugel</u>: ⇒ zunächst Knetplatte (geht unter); dann Knetboot, das aufgrund von Löchern nicht schwimmt • <u>Eisenstab</u>: sinkt (Gewichtstheorie) • <u>Holzklötz</u>: schwimmt • <u>Eisenholz</u>: schwimmt (Materialtheorie) • <u>Eisenblech</u>: schwimmt (<i>Ja, das schwimmt dann ja. Das ist dann ja gleichmäßig verteilt.</i>) • <u>Eisendraht</u>: sinkt • <u>Drahtspitze</u>: sinkt (Materialtheorie: <i>Eigentlich gehen ja alle Metallsachen unter.</i>) • <u>Zwischenthese</u>: Ein Schiff schwimmt, weil Luft darunter ist (Lufttheorie). Genotypische Analogie zum Floß mit luftgefüllten Tonnen als Schwimmhilfe. Weitere Analogien: Boje, Rettungsreifen. • <u>Coladose</u>: Lufttheorie • <u>Joghurtbecher</u>: Begriffsproblematik: Für Ju bedeutet 'eintauchen' bereits 'unter-gehen'. Daher kann ihn das Experiment nicht ganz überzeugen. • <u>These (Ende)</u>: Im Schiff befindet sich eine <i>Kuhle mit Luft</i> (Analogie zu den Tonnen beim Floß) und deshalb schwimmt es. Als die Studentin darauf hinweist, daß es an der Luft aufgrund des Plastikbecherversuchs nicht liegen kann, ist Ju ratlos. → Ju zieht viele Vergleiche zu seinen persönlichen Erfahrungen. Im Laufe der Befragung wechselt er von der 'Gleichgewichtstheorie' (etwas muß gleichmäßig verteilt sein) zur Lufttheorie. Da er meiner Ansicht nach die Gleichgewichtstheorie nicht völlig verworfen hat, handelt es sich um einen Statuswechsel. 	<ul style="list-style-type: none"> • <u>These (Anfang)</u>: Analogie zu einer Boje, Seifendose: [...] <i>wie 'ne Boje [...] Wo innen drin Luft ist. Wichtig ist, daß da kein Wasser rein kann.</i> • <u>Stein am Gummib.</u>: kann sich an das 'Erspürte' erinnern • <u>Analogien</u>: Stein an der Angel, Becher, Gummihandschuh • <u>Transfer</u>: <i>Unter Wasser kann man jemanden leichter heben als über der Wasseroberfläche.</i> • <u>Ursache d. Auftriebskr.</u>: zunächst: <i>Wegen dem Luftdruck von unten.</i> ⇒ dann unsicher, nach Hilfspulsen: Wasserdruck • <u>Kräftepiel</u>: keine korrekte Erinnerung: <i>Ja, also das Wasser hat gedrückt, und die Luft hat dann eben gezogen.</i> • <u>'Gegenstände'</u>: Holzstück: <i>Wenn 's nicht drücken würde, würd's ja untergehen.</i> Knetkugel: Ju knetet zunächst eine Knetplatte ⇒ dann ein Boot! <u>Erklärung</u>: Gegen die Platte kann kein Druck drücken, weil der hier immer an den Seiten wegfießt. (Ad-hoc-Konstruktion) Ju hat also die Gleichgewichtstheorie noch nicht völlig verworfen. • <u>Zwei Boote</u>: zunächst: 'kleineres' Boot; dann: 'größeres' Boot: <i>Da könnte er (der Pirat) mehr rein tun.</i> Auch nach dem Hinweis, daß es nicht auf die Ladung ankommt, bleibt Ju bei dem 'größeren' Boot – kann seine Entscheidung aber nicht begründen (intuitives Wissen). • <u>Großer – kleiner Becher</u>: Beim kleineren Becher muß man weniger drücken. <i>Um so größer der Gegenstand ist, um so höher steigt das Wasser. Das ist ja dann, wenn er mehr Platz braucht, dann drückt das Wasser immer mehr und dann geht' s immer höher</i> (der Wasserstand). Platzbegriff kann jetzt auch auf die Knetboote übertragen werden. • <u>Knobelfragen</u>: Ju erinnert sich an 'tragende' Funktion des Salzwassers. • <u>Überprüfung Lufttheorie</u>: Ju stellt fest: <i>Dann kann es an der Luft nicht liegen.</i> • <u>These (Ende)</u>: <i>Weil das Wasser, weil der Druck gewinnt.</i> Das Wasser drückt von unten und steigt höher, wenn man einen großen Gegenstand oder ein großes Stück ins Wasser tut. • <u>überzeugende Versuche</u>: Becher, Holzklötz → Ju versucht, die Lufttheorie mit den neu gelernten Theorien in Verbindung zu bringen. Ju hat den Zusammenhang zwischen Wasserstand, Wasserdruck und 'Platz brauchen' verstanden.

Präkonzepte Ki	Postkonzepte Ki
<ul style="list-style-type: none"> • <u>These (Anfang):</u> Motor (Antriebstheorie) • <u>Knetkugel:</u> ⇒ Knetboot • <u>Holzklotz:</u> sinkt (Ki ist sehr erstaunt, als der Holzklotz schwimmt. Sie besitzt die Theorie, daß große und schwere Dinge sinken.) • <u>Eisenholz:</u> schwimmt (Für Ki stellt das sinkende Eisenholz einen echten Konflikt dar, weil es ja kleiner und leichter ist als der Holzklotz.) • <u>Eisenblech:</u> sinkt (aufgrund der Größe und des Gewichts) • <u>Eisendraht:</u> schwimmt (Ki ist verblüfft, als der Draht sinkt: [...] <i>aber weil die (meint Eisendraht) so leicht ist, kann ich mir das irgendwie nicht vorstellen, daß die dann doch untergeht.</i> • <u>Drahtspitze:</u> sinkt (Ki vermutet zwar jetzt richtig (Lernprozeß), aber so ganz überzeugt ist sie nicht: [...] <i>aber jetzt vorstellen kann ich mir es irgendwie nicht [...].</i> • <u>Coladose:</u> Die zusammengedrückte Hälfte ist schwerer. • <u>These (Ende):</u> Ki hat keine Erklärung. Ihre Antriebstheorie hat sie verworfen. <p>→ Ki hat bemerkt, daß die Zentrierung auf Größe und Gewicht zu Widersprüchen führt. Status von Gewichts- und Größentheorie sowie von der Antriebstheorie scheinen durch die Vorbefragung gesunken zu sein.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <u>These (Anfang):</u> <i>Ja, das Wasser drückt und das Gewicht zieht. Also wenn die Gewichte dann aufeinanderliegen, dann muß das Schiff eigentlich an der Oberfläche bleiben. [...] Ja, das Schiff hat Hohlräume und dann war das 'nen bißchen leichter.</i> Hinweis auf den Konflikt Eisenstange – Eisenschiff: Es liegt <i>an der Fracht, wie sie verladen ist.</i> Ki meint, daß genügend kleine Hohlräume vorhanden sein müssen (Ad-hoc-Konstruktion). • <u>'Gegenstände': Kaminholz:</u> sinkt (!); Reaktion: Es schwimmt, weil es Hohlräume und Lufträume hat. Nach einigen Hinweisen der Studentin denkt Ki lange nach. Sie findet aber keine andere Erklärung. Die Knetplatte sinkt, weil platte Sachen schwerer sind. • <u>Stein am Gummib.:</u> Ki erwähnt zunächst nur das Zusammenziehen des Gummibandes ⇒ nach einigen Impulsen: richtige Erinnerung • <u>Transfer:</u> Tauchen; im Wasser ist eigentlich alles leichter • <u>Großer – kleiner Becher:</u> Je größer der Becher ist (Studentin = St.), <i>desto stärker ist der Druck oder so. [...] Oder je höher geht das Wasser. Je mehr Platz der Becher im Wasser braucht (St.), um so höher steigt das Wasser. Der Becher drückt das Wasser nach außen und dadurch steigt's.</i> Der Becher braucht ja Platz, um runterzugehen. • <u>Zwei Boote:</u> 'kleineres' Boot, weil es stabiler ist ⇒ finalistische Erklärung • <u>allgemeiner Satz:</u> <i>Das Gewicht zieht, und das Wasser drückt.</i> • <u>Begriff Platz:</u> Unwissen, obwohl bereits erwähnt (s. o.) • <u>These (Ende):</u> Es liegt an der Fracht, <i>wie sie verladen ist, und daß dann genügend Hohlräume entstehen.</i> Das Wasser drückt und das Gewicht zieht, so daß dann <i>'nen Gleichgewicht rauskommt [...].</i> • <u>Kräftepiel:</u> <i>Ist 'ne gute Erklärung.</i> • <u>überzeugende Phänomene:</u> Holzklotz, Knetboot <p>→ Die Antriebstheorie scheint Ki verworfen zu haben. Das Kräftepiel war sehr hilfreich für sie. Bei der Theorie der kleinen Hohlräume scheint es sich um eine Hilfskonstruktion zu handeln. Die Größen- und Gewichtstheorie scheint doch noch recht stabil zu sein (siehe Vermutung: Holzklotz).</p>

Präkonzepte Ma	Postkonzepte Ma
<ul style="list-style-type: none"> • <u>These (Anfang)</u>: Die Eisenschraube geht unter, weil sie keine <i>Höhle hat, wo Luft drin ist</i>. • <u>Knetkugel</u>: ⇒ knetet Knetboot, das sie allerdings, nachdem sie die Münzen eingefüllt hat, wieder verschließt ('Lufthöhle'). Das Sinken des Bootes begründet sie damit, daß nicht genügend Luft vorhanden war. • <u>Holzklotz</u>: schwimmt (Ma hat auf dem Gievenbach schwimmendes Holz gesehen) • <u>Eisenholz</u>: sinkt • <u>Eisenblech</u>: sinkt (Ma meint, man könnte die Platte zum Schwimmen bringen, indem man Luft bzw. Sauerstoff 'darunter tut'.) • <u>Joghurtbecher</u>: <i>Der schwimmt an der Oberfläche, weil er Sauerstoff von oben braucht</i>. (Ad-hoc-Konstruktion zum Widerlegen des induzierten Konflikts) • <u>Eisendraht</u>: sinkt (Ma befindet sich im 'Materialkonflikt', weil die Eisenschiffe schwimmen) • <u>Drahtspitze</u>: sinkt • <u>Zwischenthese</u>: Ma vermutet, die Luft im Schiff <i>will wieder nach oben, und deswegen hebt sie das Schiff hoch</i>. (animistisch, Täter-Opfer-Schema) • <u>Coladose</u>: Materialtheorie • <u>These (Ende)</u>: In das Schiff <i>muß man ganz viel Luft rein stapeln</i>. Im Schiff muß ein großer Behälter mit Sauerstoff sein. <p>→ Für Ma sind ihre eigenen Erfahrungen und das, was ihre Mutter ihr erklärt hat, besonders wichtig. Sie besitzt eine stabile Lufttheorie bzw. Sauerstofftheorie, die flexibel in verschiedenen Situationen anwendbar ist und daher nicht erschüttert werden konnte.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Stein am Gummib.</u>: kann sich zunächst nicht korrekt an das 'Erspürte' erinnern: <i>Das Wasser zieht die Gegenstände an</i>. ⇒ nach dem Ausprobieren: <i>Und das Wasser versucht, den Stein hochzudrücken, und das Gewicht geht nach unten</i>. (Kräftespiel) • <u>Analogien</u>: Stein an der Angel ⇒ das nochmalige Erspüren ist Ma für ihre Deutung wichtig: <i>Das Gewicht kämpft gegen den Druck von unten</i>.; Gummihandschuh • <u>Kräftespiel</u>: korrekte Erinnerung u. Übertragen auf den Stein möglich • <u>Überprüfung Lufttheorie</u>: nach anfänglichem Zögern: <i>Luft ist doch nicht dran Schuld</i>; statt dessen ⇒ <u>Zwischenthese</u>: <i>Das Wasser drückt nach oben, und das Gewicht zieht nach unten, und das Wasser gewinnt</i>. Beim Schiff gewinnt das Wasser wegen des Hohlraums. • <u>'Gegenstände'</u>: Holz schwimmt halt, das ist halt eben so wie es ist. (Materialtheorie) Das Eisenstück sinkt, weil <i>da das Wasser drauf kann</i>. <u>Zwischenthese</u>: Antriebstheorie, kann aber sofort widerlegt werden • <u>Großer-kleiner Becher</u>: zunächst: kleiner Becher: mehr Druck; nach dem Ausprobieren: beim großen mehr Druck ⇒ <u>Begründung</u>: <i>Weil er größer ist, und weil er mehr Platz braucht, weil da Luft drin ist, die runterdrückt</i>. [...] um so größer der Becher ist, desto mehr Druck. • <u>Transfer</u>: Ma wurde in der Badewanne hochgedrückt. • <u>Zwei Boote</u>: 'größeres' Boot, weil es einen höheren Rand hat; nach dem Verändern der Boote: 'größeres' Boot, weil es dünner ist und mehr laden kann (final) • <u>Knobelfragen</u>: Schiff schwimmt im Meer besser, weil <i>das Salz geht nach oben, das haben wir ausprobiert</i>. • <u>These (Ende)</u>: <i>Weil das Gewicht verteilter ist, und weil es einen Rand hat, und wenn man das auseinanderzieht wird das leichter, glaub' ich zumindest</i>. • <u>überzeugende Versuche</u>: Stein am Gummiband, Holzklotz = unwichtig, weil jedes Baby weiß, daß Holz schwimmt <p>→ Mas Lufttheorie konnte erschüttert werden und hat an Status verloren. An Status gewonnen hat dagegen das Konzept des Zusammenspiels von Auftriebs- und Gewichtskraft. Hierbei scheint es sich um eine stabile Theorie zu handeln, die auf verschiedene Situationen übertragen werden kann. Das nochmalige Erspüren der Phänomene ist für Ma ganz wichtig.</p>

⁹ Ma. konnte an der 5. Untersuchungssequenz nicht teilnehmen.

Präkonzepte Me	Postkonzepte Me
<ul style="list-style-type: none"> • <u>These (Anfang)</u>: Keine Idee • <u>Knetkugel</u>: ⇒ Knetboot (keine Gewichtsinvarianz: Kugel ist schwerer als Boot) • <u>Holzklotz</u>: sinkt (Gewichtstheorie, sehr erstaunt als er schwimmt) • <u>Eisenholz</u>: schwimmt (als es sinkt: <i>Wahrscheinlich ist es zu schwer.</i>) • <u>Eisenblech</u>: schwimmt (Gewichtstheorie) • <u>Eisendraht</u>: schwimmt (Gewichtstheorie) • <u>Drahtspitze</u>: sinkt! (Lernprozeß ⇒ Materialtheorie: <i>Ja, das ist ja auch aus demselben Eisen.</i>) • <u>Coladose</u>: Randtheorie • <u>These (Ende)</u>: Das Wasser drückt das Schiff irgendwie hoch. Das Wasser drückt die Eisenstange nicht hoch, weil das <i>so ein Klumpen ist, das wird ja nicht überall [...] verteilt, denk' ich mal.</i> <p>→ Die Gewichtstheorie scheint bei Me tief verwurzelt zu sein. Wie stabil das am Ende der Befragung genannte Konzept ist (Wasserdrucktheorie), läßt sich nur schwer sagen. Fraglich ist, ob es sich um ein Ad-hoc-Konzept handelt, oder ob Me zu Anfang nicht den Mut hatte, dieses zu nennen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <u>These (Anfang)</u>: <i>Weil ein Hohlraum da drin ist, und dann die Luft das hochdrückt. [...] und so ein Druck auch von unten vom Wasser geht auch hoch, und deshalb schwimmt das.</i> • <u>'Gegenstände'</u>: Holzklotz: sinkt (!), weil es kein <i>Schwimmholz</i> ist; Knetboot schwimmt, weil es einen Rand hat • <u>Stein am Gummib.</u>: kann sich an das 'Erspürte' erinnern ⇒ keine Analogien • <u>Transfer</u>: Mes Bruder wurde im Wasser leichter. • <u>Ursache d. Auftriebskr.</u>: Wasserdruck • <u>Kräftepiel</u>: keine genaue Erinnerung • <u>Zwei Boote</u>: 'kleineres' Boot: keine Begründung; als das Boot sinkt: Randtheorie ⇒ wird widerlegt, danach: Lufttheorie • <u>Überprüfung der Lufttheorie</u>: Me ist der Ansicht, daß das mit Wachs gefüllte Teelicht sinkt. • <u>Großer - kleiner Becher</u>: Wasserstand steigt je nach Größe des Bechers; Je größer der Becher ist (St.), <i>um so mehr steigt das Wasser.</i> Je mehr Platz der Becher braucht (St.), <i>um so mehr Druck hat er.</i> Beim größeren Becher ist der Druck stärker. • <u>Begriff Platz</u>: keine Erinnerung • <u>These (Ende)</u>: <i>Das Wasser drückt das Schiff, und deshalb bleibt das oben. Und weil dann auch noch ein Hohlraum da drin ist, schwimmt das noch besser.</i> • <u>überzeugende Versuche</u>: Teelicht; Knetboote, um zu zeigen, daß der Rand wichtig ist; Stein am Gummiband; Eisendraht <p>→ Durch den Unterricht muß bei Me die nun recht stabile Lufttheorie hervorgerufen worden sein, da sie diese in der Vorbefragung nicht geäußert hat. Die Wasserdrucktheorie, die von Me ausdifferenziert wurde (weiche Umstrukturierung), und die Hohlraumtheorie sind ebenfalls sehr stabil, denn sie werden oft genannt.</p>

Präkonzepte Mn	Postkonzepte Mn
<ul style="list-style-type: none"> • <u>These (Anfang)</u>: Schiffe haben <i>eine Ladefläche, und die ist auch meistens noch hohl, und dann ist das halt so, wie eine Nußschale schwimmt</i>. Besonders die schweren Schiffe brauchen einen Hohlraum. Die Eisenschraube sinkt, weil durch das Loch das Wasser hindurchkommt. Das Schwimmen eines Gegenstandes hat auch etwas mit dem Gleichgewicht zu tun. Weiterhin behauptet Mn, daß es auch ein Unterschied sei, ob ein Gegenstand sich in Süß- oder Salzwasser befindet. • <u>Knetkugel</u>: ⇒ Knetboot (Mn stellt zwar fest, daß das Knetboot keinen 'richtigen' Hohlraum hat, aber es schwimmt trotzdem, weil es leichter ist als die Kugel und einen wasserfesten Boden sowie einen Rand hat. Als die Studentin Mn deutlich macht, daß Kugel und Boot gleichschwer sein müssen, stellt sich heraus, daß Mn so etwas wie ein intuitives Konzept darüber besitzt, daß das Gewicht beim Boot besser verteilt sein muß.) • <u>Holzklotz</u>: sinkt; Mn stellt fest, daß der Holzklotz <i>nur</i> schwimmt, wenn man ihn aushöhlt. Mn ist sehr erstaunt, als der Klötz schwimmt. Daraufhin argumentiert er mit der Materialtheorie und vermutet, daß auch ein ganzer Baumstamm schwimmt. • <u>Eisenholz</u>: schwimmt; als das Stück sinkt, vermutet Mn, daß es sich um ein sehr 'feines' Holz handelt. • <u>Eisenblech</u>: sinkt; weil es sich um hartes, schweres Material handelt. (Gewichts- und Materialtheorie) • <u>Eisendraht</u>: zunächst vermutet Mn, daß es schwimmt, dann korrigiert er sich • <u>Drahtspitze</u>: sinkt, weil das Wasser diesen Gegenstand leicht 'überspülen' kann • <u>Coladose</u>: zusammengedrückte Hälfte schwimmt nicht, weil das Wasser leicht 'darüberschwappen' kann. Die andere Hälfte schwimmt, weil ein Rand und ein Hohlraum vorhanden sind. • <u>These (Ende)</u>: Das Schiff besitzt einen Hohlraum, hohe Ränder, und <i>es fährt wahrscheinlich auch nicht langsam</i>. <p>→ Mn besitzt sehr viele verschiedene Konzepte. Fest verwurzelt sind die Hohlraumtheorie und die Randtheorie. Es entsteht der Eindruck, daß Mn ungern ohne Erklärung 'dasteht' und daher recht viele Ad-hoc-Konstruktionen entwirft.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <u>These (Anfang)</u>: Das <i>Wasser ist stärker als der Druck des Schiffes</i>. Weil das Schiff nicht leicht ist, drückt es nach unten. (Mn meint die Gewichtskraft) • <u>Stein am Gummib.</u>: Mn stellt fest, daß <i>das Wasser einen Teil vom Gewicht des Steines abnahm und das Gummi sich dadurch dann mehr zusammenzog</i>. • <u>Analogien</u>: Stein an der Angel • <u>Transfer</u>: Mn's Bruder war im Wasser leichter als vorher. • <u>'Gegenstände'</u>: Eine Knetkugel sinkt, weil <i>das Wasser das übergespült</i> hat. • <u>Kräftepiel</u>: keine Erinnerung • <u>Zwei Boote</u>: 'größeres' Boot, weil <i>es nicht so leicht weggipeln kann</i>. [...] <i>Ja, da ..da kann sich das Gewicht ein bißchen besser verteilen</i>. ⇒ unklar ist, ob Mn die stabile Lage des Bootes ('das Gewicht muß verteilt sein, damit das Boot nicht umkippt') meint, oder ob er von der Gewichtsverteilung im Sinne der besseren Schwimmfähigkeit spricht • <u>Großer - kleiner Becher</u>: Wasserstand steigt – abhängig von der Größe der Becher; Der kleinere Becher <i>nimmt nicht so viel Platz im Wasser ein, und dadurch drückt das auch, das Wasser, nicht so sehr nach oben</i>. (danach: kurzes Anklingen der Lufttheorie – wird aber sofort wieder verworfen) • <u>Knobelfragen</u>: Das Schiff im See würde untergehen, weil <i>das Salzwasser stärker drückt als das Seewasser</i>. Nach einem kleinen Hilsimpuls stellt Mn fest, daß das Schiff wohl tiefer im Wasser liegen wird. • <u>Begriff Platz</u>: Als Mn nach dem Platzbegriff gefragt wird, weiß er nicht, was gemeint ist, obwohl er schon davon gesprochen hat (s. o.). • <u>These (Ende)</u>: <i>Weil der Wasserdruck stärker als der Gewichtsdruck ist</i>. • <u>überzeugende Versuche</u>: Knetschiffchenwettbewerb; Mn betont, daß das 'Selbermachen' wichtig ist. <p>→ Obwohl Mn sich nicht mehr an das Kräftepiel erinnern kann, vergleicht er Auftriebs- und Gewichtskraft miteinander. Mn's Hohlraum- und Randtheorie aus der Vorbefragung scheinen an Status verloren zu haben. Das 'Salzwasserkonzept' hat Mn im Vergleich zur Vorbefragung ausdifferenziert (weiche Umstrukturierung). Daß Mn nicht mehr so viele Ad-hoc-Vorstellungen konstruiert, könnte damit zusammenhängen, daß er von einer anderen Studentin befragt wurde.</p>

Präkonzepte Ol	Postkonzepte Ol
<ul style="list-style-type: none"> • <u>These (Anfang)</u>: Das Schiff schwimmt, weil das Meer so tief ist (Wassertiefentheorie). Das Eisenstück geht unter, weil es sich unter anderem nicht in Salzwasser befindet. Auch der Wind ist ein Grund für das Schwimmen des Schiffes (Antriebstheorie). • <u>Knetkugel</u>: ⇒ Knetboot, Ol vermutet, daß ihr Knetboot im Salzwasser besser schwimmt. Sie begründet das mit ihrer persönlichen Erfahrung, daß man im Meer besser schwimmen kann als im Schwimmbad. • <u>Eisenstange</u>: sinkt (Gewichtstheorie) • <u>Holzklotz</u>: sinkt ⇒ Erstaunen, Vermutung: Holzklotz ist stabiler (Ad-hoc-Konstruktion) • <u>Eisenholz</u>: keine Vermutung, Unverständnis darüber, daß dieses Holz sinkt • <u>Eisenblech</u>: Ol's Vermutungen schwanken (Frustration: <i>Oh Mann, ich kann überhaupt nicht mehr schätzen.</i>) • <u>Eisendraht</u>: sinkt ⇒ Vermutung: <i>Das hat überhaupt keine Möglichkeit, sich festzuhalten.</i> (animistisch) • <u>Drahtspitze</u>: sinkt ⇒ Vermutung s. o. • <u>Coladose</u>: Zusammengeknüllte Hälfte hat keine Möglichkeit, 'sich festzuhalten'. Analogie zur Situation auf einer Eisfläche: <i>wenn man sich hinlegt, dann geht man nicht unter.</i> Ol (intuitiv): Das Gewicht muß verteilt sein. • <u>These (Ende)</u>: Analogiebildung zwischen Schiff und Coladosenhälfte. Es darf nicht zuviel Gewicht auf einer Stelle sein. <p>→ Ol geht sehr intensiv auf das Medium Wasser ein. Allerdings besitzt dieses Konzept keinen allzuhohen Status, denn Ol argumentiert während der Befragung immer wieder anders. Das 'Festhalte-Konzept' wurde während der Befragung mehr und mehr ausdifferenziert. Ol stützt ihre Erklärungen auf persönliche Erfahrungen (im Meer baden, Eislaufen).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <u>These (Anfang)</u>: Weil's innen hohl ist. • <u>'Gegenstände'</u>: Holzklotz schwimmt (Lernprozeß) Ol drückt den Klotz in das Wasser: <i>Das mit dem Hochsteigen des Wassers, das versteh' ich, weil das Wasser muß ja irgendwo hin [...].</i> (intuitives Konzept der Wasserverdrängung); Unzufriedenheit mit der Hohlraumtheorie: Der Klotz schwimmt, obwohl er nicht hohl ist. Eisenblech: sinkt, weil das Wasser <i>schnell drüber</i> kann. Das Holz schwimmt, weil das Wasser da nicht so schnell drüber kann. (Ad-hoc-Konstruktion) Knetplatte: Ol versetzt sich in das Wasser hinein ⇒ <i>würde ich sie (die Platte) halten oder nicht? Nein!</i> • <u>Kräftepiel</u>: nach kurzem Hilfsimpuls: Erinnerung • <u>Stein am Gummib.</u>: kann sich an das 'Erspürte' erinnern • <u>Analogien</u>: Stein an der Angel • <u>Ursache d. Auftriebskr.</u>: Wasserdruck • <u>Transfer</u>: Ol kann im Wasser ihre beste Freundin tragen, die schwerer ist als sie. • <u>Zwei Boote</u>: zunächst 'kleineres' Boot (stabiler); dann doch 'größeres' Boot, weil es mehr laden kann ⇒ finalistische Erklärungen • <u>Großer - kleiner Becher</u>: Beim gr. Becher muß man mehr drücken, <i>weil da muß man noch mehr Wasser wegtun dann [...].</i> Ol zeigt die unterschiedl. Wasserstände am Wasserbecken: <i>Das muß ja irgendwo hin, das Wasser.</i> Je mehr Platz der Becher im Wasser braucht, um so höher <i>steigt das Wasser</i>. Der Becher nimmt dem Wasser <i>seinen Platz weg</i>. Der kl. Becher nimmt <i>viel weniger Platz weg</i>. • <u>Knobelfragen</u>: Das Schiff <i>würde nur 'n bißchen tiefer gehen.</i> (Salzwasser) • <u>Begriff Platz</u>: [...] <i>um so mehr Platz, um so besser kann es (das Schiff) schwimmen.</i> • <u>These (Ende)</u>: Ein Schiff schwimmt, <i>weil es innen ausgehöhlt ist.</i> Ol ist unzufrieden mit ihren eigenen Konzepten, denn sie fordert die Studentin auf: <i>Ich kapiert das nicht, und kannst du es mir mal erklären, ja?</i> <p>→ Ol hat den Zusammenhang von Wasserverdrängung, Wasserstand und Wasserdruck verstanden. Die Erfahrungen mit den Bechern kann sie jedoch nicht auf das Schiff übertragen. Obwohl Ol ein intuitives Konzept der Wasserverdrängung besitzt, fehlt ihr das Verständnis für das Zusammenspiel von Auftriebs- und Gewichtskraft, so daß sie das Schwimmen eines Schiffes auch aus eigener Sicht nicht befriedigend erklären kann.</p>

Präkonzepte Se	Postkonzepte Se
<ul style="list-style-type: none"> • <u>These (Anfang):</u> Das Schiff schwimmt, weil's <i>innen drin hohl ist</i>. • <u>Knetkugel:</u> ⇒ Knetboot • <u>Holzklötz:</u> schwimmt, weil <i>Holz ist leichter als Stahl</i>. [...] <i>wenn man ein Stück Stahl nehmen würde, das genauso groß ist, das würde untergehen</i>. (intuitives Dichtekonzept) • <u>Eisenholz:</u> schwimmt (Reaktion auf das Sinken: <i>Ich glaub', es saugt sich voll Wasser</i>. ⇒ Ad-hoc-Konstruktion) • <u>Eisenblech:</u> schwimmt (das Blech ist für Se leichter als die Stange) • <u>Eisendraht:</u> zunächst unsicher, dann rät Se, daß der Draht schwimmt • <u>Drahtspitze:</u> sinkt, weil <i>das auch schwer ist</i> (Lernprozeß). Beim Versuch des Erklärens: <u>Rückbezug zum Holzklötz:</u> Se ist jetzt der Ansicht, daß der Holzklötz sich voll Wasser saugt und nach ein paar Stunden untergehen wird. (Ad-hoc-Konstruktion) • <u>Coladose:</u> Unzerdrückte Hälfte schwimmt, weil <i>da kein Wasser reinlaufen kann</i>. Analogie zum Schiff: alles ist zu, kein Loch ist vorhanden, es kann kein Wasser reinlaufen • <u>Joghurtbecher:</u> Se behauptet, daß sich im wassergefüllten Joghurtbecher noch Luft befindet. Dann argumentiert er mit dem Material und weist noch mal auf die geschlossene Form des Schiffs hin. • <u>These (Ende):</u> Beim Schiff <i>ist ja 'n Boden, und das ist überall rundherum zu. Und das ist hier ja genauso wie bei der Coladose</i>. (Analogiebildung). <p>→ Erfahrungs- und Handlungswissen haben für Se einen hohen Status. So weist er oft auf Erlebnisse mit den Pfadfindern und mit seinem Opa hin. Das Hohlraumkonzept besitzt einen hohen Status für ihn und scheint sehr stabil zu sein. Das Konzept des 'Aufsaugens' benutzt Se nur in 'brenzlichen' Situationen. Daher scheint es sich um eine Ad-hoc-Konstruktion zu handeln.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <u>These (Anfang):</u> Se stellt fest, daß es zwei Kräfte gibt: eine, die nach oben zieht, und die Erdanziehungskraft, die nach unten zieht. Außerdem spielt auch der Luftdruck eine Rolle. • <u>Stein am Gummib.:</u> auf Anhieb richtige Deutung: der Stein ist im Wasser leichter ⇒ <i>das hängt auch wieder mit der Erdanziehungskraft zusammen</i> • <u>Analogien:</u> Stein an der Angel, Gummihandschuh, Becher • <u>Transfer:</u> Tauchen: Je tiefer man taucht, desto größer wird der Druck auf den Ohren; das 'Bein' ist außerhalb der Badewanne schwerer ⇒ Analogie zum Stein • <u>'Gegenstände':</u> Das Knetboot <i>muß immer so wie eine richtige Nußschale sein</i>. (phänotypische Analogie) Se erkennt Unterschied zwischen Hohl- und Vollkörpern: <i>Beim Korken ist das anders</i> (als beim Knetboot), <i>weil der ja auch so leicht ist</i> [...]. Die Knetplatte geht unter, weil <i>das Wasser kommt auch noch dadrüber</i> [...]. • <u>Zwei Boote:</u> größeres Boot: weil es <i>auch einen größeren Hohlraum hat</i>. Se besitzt eine ganz individuelle Bezeichnung für den Wasserdruck: <i>Ja, das (Knetboot) wird dadrunter abgestoßen</i>. • <u>Größer - kleiner Becher:</u> <i>Desto größer der Becher ist, desto höher steigt das Wasser</i>. Analogie zum Kanal: Wenn ein Schiff kommt, <i>dann schwappt das (Wasser) auch noch immer dadrüber</i> (über das Ufer). Je größer der Becher ist, <i>desto größer ist der Widerstand</i>. (Se meint den Druck) • <u>Begriff Platz:</u> Das größere Knetschiff verbraucht mehr Platz als das kleinere: <i>Das hier (das größere) ist hauchdünn, und das hier (das kleinere) ist ganz, ganz dick</i>. [...] <i>Was größer ist, kann besser oben bleiben und verbraucht auch gleich mehr Platz</i>. • <u>These (Ende):</u> Für Se ist die Meßplatte am Schiff sehr wichtig. Er beschreibt, daß ein Schiff je nach seiner Ladung verschieden tief einsinkt. Am Schiff wirken zwei Kräfte: <i>Drückt von unten nach oben</i> (der Wasserdruck) und <i>drückt von oben nach unten</i> (die Ladung). An einer anderen Stelle stellt er fest, daß die Luft 'runterdrückt'. • <u>überzeugende Versuche:</u> Knetschiffchenwettbewerb, Korken, Gummihandschuh (Analogie zum Küchenhandschuh) <p>→ Se bildet viele Analogien und benutzt auch 'eigene' Begriffe ('abstoßen'). Das zeigt, daß er wirklich verstanden hat und nicht etwas 'nachplappert'. Für ihn sind seine eigenen Erfahrungen ganz wichtig. Es scheint, als würde Se eine intuitive Vorstellung vom Volumen eines Körpers und von seiner Dichte besitzen. Da das Konzept des 'Aufsaugens' in der Nachbefragung nicht mehr genannt wird, scheint es sich tatsächlich um eine Ad-hoc-Konstruktion gehandelt zu haben.</p>

¹⁰ Se. konnte an der 4. Untersuchungssequenz nicht teilnehmen.

Präkonzepte Ve	Postkonzepte Ve
<ul style="list-style-type: none"> • <u>These (Anfang)</u>: Schiffe <i>haben hinten so ein Rad, und das dreht sich dann im Wasser.</i> (Antriebstheorie) • <u>Eisenschraube</u>: sinkt, weil sie Löcher hat, und dadurch kann Wasser herein • <u>Knetkugel</u>: ⇒ Knetboot, Knetkugel sinkt, weil das Wasser sie 'heruntertreibt', das Wasser zieht die Knete nach unten • <u>Vergleich Holzstange/Eisenstange</u>: [...] <i>Eisen ist auch schwerer, darum geht das ja auch eher unter als Holz.</i> (Gewichtstheorie) • <u>Holzklotz</u>: sinkt (Gewichtstheorie) • <u>Eisenholz</u>: schwimmt • <u>Eisenblech</u>: schwimmt (Frustration: [...] <i>aber ich finde die Fragen sind zu schwer, ich komm' da nicht drauf.</i>) Reaktion auf das Versuchsergebnis: Blech geht unter, weil es nicht so hochgebogen ist. • <u>Eisendraht</u>: schwimmt • <u>Drahtspitze</u>: schwimmt, weil sie so klein ist • <u>Coladose</u>: kaputte Hälfte geht unter, weil <i>da sofort das Wasser reingekommen ist und draufgekommen ist und das dann runtergespült hat.</i> • <u>These (Ende)</u>: Ein Schiff schwimmt, weil es keine Löcher hat. Außerdem ist es hochgebogen, so daß kein Wasser hereinkommen kann. <p>→ Ve scheint die recht stabile Vorstellung zu haben, daß das Wasser von oben auf die Gegenstände drückt, und daß diese daher sinken. Die zu Anfang genannte Antriebstheorie scheint wohl eher zu den 'current constructions' zu gehören.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <u>These (Anfang)</u>: <i>Ja, also wenn da Luft drin ist, dann schwimmt's.</i> Außerdem müssen die Wände hoch sein. (Randtheorie) • <u>'Gegenstände'</u>: Ve ist der Ansicht, daß ein mit Öl gefülltes Teelicht untergehen würde; • Holzklotz: sinkt (!) ⇒ Ve hat gesehen, daß Bäume im Schloßgraben untergegangen sind; • Knetschiff schwimmt besser als Platte und Kugel, weil es einen Hohlraum hat, das Gewicht sich verlagern kann, und weil es <i>eine höhere Wand</i> hat und daher tiefer einsinken kann. • <u>Stein am Gummib.</u>: Der Stein wurde leichter, weil das Wasser den <i>hochgeschoben</i> hat. • <u>Analogien</u>: Stein an der Angel, Gummihandschuh, Becher • <u>Ursache d. Auftriebskr.</u>: <i>Das Wasser hat das immer hochgedrückt.</i> • <u>Transfer</u>: <i>Ja, also wenn ich in der Badewanne bin, dann steigt das Wasser.</i> Ve erzählt, daß sie beim Schwimmen einmal untergegangen sei. Da das Wasser aber gedrückt hat, ist sie <i>gleich wieder hochgekommen.</i> • <u>Kräftepiel</u>: unvollständige Erinnerung, nach einigen Hilfsimpulsen: das Wasser hat gedrückt, und die Gewichtskraft hat <i>das Ganze runtergedrückt.</i> • <u>Zwei Boote</u>: 'größeres' Boot, <i>weil das auch die höheren Wände hat.</i> Nach dem Hinweis, daß die Ränder gleich sind: <i>Weil es breiter ist?</i> • <u>Großer - kleiner Becher</u>: Ve verbindet Wasserstand und Größe der Becher korrekt miteinander. Als Begründung gibt sie die unterschiedliche Größe der Hohlräume an. Nach dem Ausprobieren ist Ve der Meinung, daß das Wasser bei dem kleineren (!) Becher mehr gedrückt hat. Ein nochmaliges Ausprobieren hat zum Ergebnis, daß sie sich nicht entscheiden kann. • <u>Knobelfragen</u>: Wenn das Holzschiff keinen Hohlraum hätte, <i>dann würde es mehr untergehen, weil es schwerer wäre.</i> • <u>Begriff Platz</u>: <i>Also, desto mehr Platz, um so besser schwimmt das oder so.</i> • <u>These (Ende)</u>: [...] <i>also, desto größer der Hohlraum und desto stärker drückt das Wasser, dann schwimmt's besser.</i> • <u>überzeugende Versuche</u>: Kräftepiel, Teelicht, Knetschiffchenwettbewerb, Becher, Coladose, Holzklotz, Stein, Handschuh ⇒ <i>ein-fach alles</i> <p>→ Ve besitzt drei recht stabile Theorien: die Hohlraumtheorie, die Lufttheorie und die Randtheorie. Die Erfahrung, daß das Wasser drückt, kann sie nicht auf das Schwimmen von Schiffen übertragen. Ihre eigenen Erfahrungen sind sehr bedeutsam für sie.</p>

Literatur

- Abelson, R.P.: Script processing in attitude formation and decision making. In: Caroll, J. S.; Payne, J.W. (Hrsg.): Cog. and soc. beh. Hillsdale, N.J.: Erlbaum 1976, p. 33-46
- Atkinson, R.L. u.a. (Hrsg.): Introduction to Psychology. San Diego, New York u.a. 1990
- Bahl, F. ; Fahrenberger, G.; Schopf, G.: Arbeitsbuch für den Sachunterricht in der Grundschule. 4. Schuljahr. Frankfurt am Main 1975
- Banholzer, Agnes: Die Auffassung physikalischer Sachverhalte im Schulalter. Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde einer hohen philosophischen Fakultät der Eberhard Karls-Universität zu Tübingen. Stuttgart: Widmann 1936
- Baumert, Jürgen; Lehmann, Rainer: TIMSS – Mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich. Opladen: Leske & Budrich 1997
- Biester, Wolfgang (Hrsg.): Denken über Natur und Technik. Zum Sachunterricht in der Grundschule. Bad Heilbrunn/ Obb.: Klinkhardt 1991
- Bliss, Joan: Piaget und Vygotsky: Ihre Bedeutung für das Lehren und Lernen der Naturwissenschaften. In: Bayrhuber, Horst; Duit, Reinders; Jung, Walter (Hrsg.): Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften. Biologie, Chemie, Physik, 2(1996)3, Kiel: Verlag Schmidt und Klaunig 1996, S. 3-16
- Breitschuh, G.: Inhalte des Sachunterrichts im 4. Schuljahr. GDSU-Tagung Kiel 1997 (mündlicher Vortrag)
- Brügelmann, Hans: Noch einmal: Was heißt „Öffnung des Unterrichts“ – und welche Strukturen setzt sie voraus? Projekt OASE (Offene Arbeits- und Sozialformen entwickeln). Siegen 1996
- Brügelmann, Hans: Öffnung des Unterrichts. Befunde und Probleme der empirischen Forschung. In: Brügelmann, Hans; Fölling-Albers, Maria; Richter, Sigrun (Hrsg.): Jahrbuch Grundschule. Fragen der Praxis – Befunde der Forschung. Seelze: Friedrich Verlag 1998, S. 8-42
- Buck, Peter: Über physikalische und chemische Zugriffsmodi. In: Bayrhuber, Horst; Duit, Reinders; Jung, Walter (Hrsg.): Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften. Biologie, Chemie, Physik, 2(1996)3, Kiel: Verlag Schmidt und Klaunig 1996, S. 25-38
- Carey, Susan: Conceptual change in childhood. Cambridge, Ma: The MIT Press 1985
- Carey, Susan: Knowledge acquisition: Enrichment or conceptual change? In: Carey, S.; Gelman, R. (Hrsg.): The epigenesis of mind. Essays on biology and cognition. Hillsdale, N.J.: Erlbaum 1991, S. 257-291
- Clement, J.; Brown, D.E.; Zietsmann, A.: Not all preconceptions are misconceptions: finding ‘anchoring conceptions’ for grounding instruction on students’ intuitions. International Journal of Science Education, 11(1989)4, S. 554-565
- Dubs, Rolf: Konstruktivismus: Einige Überlegungen aus der Sicht der Unterrichtsgestaltung. In: Zeitschrift für Pädagogik, 41(1995)6, S. 889-903

- Duit, Reinders: Forschungen zur Bedeutung vorunterrichtlicher Vorstellungen für das Erlernen der Naturwissenschaften. In: Riquarts, Kurt u.a. (Hrsg.): Naturwissenschaftliche Bildung in der Bundesrepublik Deutschland. Bd. IV. Kiel: IPN 1992, S. 47-84
- Duit, Reinders: Alltagsvorstellungen berücksichtigen! In: PdN-Ph., 42(1993)6, S. 7-11
- Duit, Reinders: Lernen als Konzeptwechsel im naturwissenschaftlichen Unterricht. In: Duit, Reinders; Rhöneck, Christoph von (Hrsg.): Lernen in den Naturwissenschaften. Beiträge zu einem Workshop an der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg. Kiel: IPN 1996, S. 145-162
- Duit, Reinders: Alltagsvorstellungen und Konzeptwechsel im naturwissenschaftlichen Unterricht – Forschungsstand und Perspektiven für den Sachunterricht der Primarstufe. In: Köhnlein, Walter; Marquardt-Mau, Brunhilde; Schreier, Helmut (Hrsg.): Kinder auf dem Wege zum Verstehen der Welt. Bad Heilbrunn: Klinkhardt 1997, S. 233-246 (= Forschungen zur Didaktik des Sachunterrichts Band 1)
- Duit, Reinders; Rhöneck, Christoph von (Hrsg.): Lernen in den Naturwissenschaften. Beiträge zu einem Workshop an der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg. Kiel: IPN 1996
- Edelstein, Wolfgang; Hoppe-Graff, Siegfried (Hrsg.): Die Konstruktion kognitiver Strukturen. Perspektiven einer konstruktivistischen Entwicklungspsychologie. Bern u.a.: Huber 1993, S.92-106
- Einsiedler, Wolfgang: Wissensstrukturierung im Unterricht. Erlangen-Nürnberg: Erziehungswissenschaftliche Fakultät der Universität Erlangen-Nürnberg 1995 (= Berichte und Arbeiten aus dem Institut für Grundschulforschung (IfG) der Universität Erlangen-Nürnberg. Heft Nr. 79)
- Einsiedler, Wolfgang: Probleme und Ergebnisse der Sachunterrichtsforschung. Nürnberg: Institut für Grundschulforschung der Universität Erlangen-Nürnberg 1996 (= Berichte und Arbeiten aus dem Institut für Grundschulforschung, Bd. 83)
- Einsiedler, Wolfgang: Unterrichtsqualität in der Grundschule. Empirische Grundlagen und Programmatik. In: Glumpler, Edith; Luchtenberg, Sigrid (Hrsg.): Jahrbuch Grundschulforschung. Band 1. Weinheim: Deutscher Studienverlag 1997
- Einsiedler, Wolfgang: Offener Unterricht: eine zu vielschichtige Konzeption? In: Brügelmann, Hans; Fölling-Albers, Maria; Richter, Sigrun (Hrsg.): Jahrbuch Grundschule. Fragen der Praxis – Befunde der Forschung. Seelze: Friedrich Verlag 1998a, S. 52-55
- Einsiedler, Wolfgang: The Curricula of Elementary Science Education in Germany. Erlangen-Nürnberg: Erziehungswissenschaftliche Fakultät der Universität Erlangen-Nürnberg 1998b (= Berichte und Arbeiten aus dem Institut für Grundschulforschung (IfG) der Universität Erlangen-Nürnberg. Heft Nr. 88)
- Fölling-Albers, Maria: Lernen, Wissen, Verstehen. Eine Einführung. In: Grundschule, 29(1997)10, S. 8-9
- Ganter, Martin: Mit Kindern verstehen lernen. Ansätze zu einer exakten Theorie der Praxis des Sachunterrichts auf dem Wege zu naturwissenschaftlichem Weltverstehen. Heinsberg: Agentur Dieck 1995

- Gerstenmaier, Jochen; Mandl, Heinz: Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. In: Zeitschrift für Pädagogik, 41(1995)6, S. 867-887
- Götzfried, Wolfgang: Bedeutungsvolles Wissen im Sachunterricht aufbauen. In: Grundschule, 29(1997)10, S. 13-16
- Hewson, P.W.; Hewson, M.G.: The status of students' conceptions. In: Duit, R.; Goldberg, F.; Niedderer, H. (Hrsg.): Research in physics learning. Theoretical issues and empirical studies. Kiel: Institute for Science Education at the University of Kiel 1992, S. 59-73
- Hopf, Christel: Qualitative Interviews in der Sozialforschung. Ein Überblick. In: Flick, Uwe u.a. (Hrsg.): Handbuch Qualitative Sozialforschung. Grundlagen, Konzepte, Methoden und Anwendungen. München: Psychologie-Verlags-Union 1991, S. 177-182
- Janke, Bettina: Entwicklung naiven Wissens über den physikalischen Auftrieb: Warum schwimmen Schiffe? In: Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie, Band XXVII, Heft 2, Hogrefe-Verlag, Göttingen 1995, S. 122-138
- Jung, Walter: Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie. In: NiU-Physik/Chemie, 34(1986)13, S. 2-6
- Jung, Walter; Reul, Horst; Schwedes, Hannelore: Untersuchungen zur Einführung in die Mechanik in den Klassen 3-6. Frankfurt am Main: Diesterweg 1977 (= Beiträge zur Methodik und Didaktik der Physik)
- Karnick, Rudolf: „Warum kann ein Dampfer schwimmen?“ Physik im 3. Schuljahr. In: Die Grundschule, 1(1968)3, S. 15-26
- Kircher, Ernst; Rückel, Bettina: Warum Eisenschiffe schwimmen. In: Wiebel, Klaus H. (Hrsg.): Zur Didaktik der Physik und Chemie. Probleme und Perspektiven. Vorträge auf der Tagung für Didaktik der Physik, Chemie in Hamburg, September 1991. Alsbach/ Bergstraße: Leuchtturm-Verlag 1992, S. 101-103 (= Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Bd. 12)
- Kleer, J. de; Brown, J.S.: Assumptions and ambiguities in mechanistic mental models. In: Gentner, D.; Stevens, A.L. (Hrsg.): Mental models. Hillsdale, N.J.: Erlbaum 1983, S. 155-190
- Klewitz, Elard: Vorstellungen über Schwimmen und Sinken bei Erstkläßlern. In: Biester, Wolfgang (Hrsg.): Denken über Natur und Technik. Zum Sachunterricht in der Grundschule. Bad Heilbrunn/ Obb.: Klinkhardt 1991, S. 76-82
- Klewitz, Elard: Zur Didaktik des naturwissenschaftlichen Sachunterrichts. Eine Untersuchung von Unterrichtsmodellen am Beispiel von „Schwimmen und Sinken“ vor dem Hintergrund der genetischen Erkenntnistheorie Piagets. Essen: Westarp 1989 (= Naturwissenschaften und Unterricht, Bd. 3)
- Köhnlein, Walter: Annäherung und Verstehen. In: Lauterbach, Roland u. a. (Hrsg.): Wie Kinder erkennen. Vorträge des Arbeitstreffens zum naturwissenschaftlich-technischen Sachunterricht am 26. und 27. März 1990 in Nürnberg. Kiel: IPN 1991a, S. 7-20 (= Probleme und Perspektiven des Sachunterrichts, Bd.1)
- Köhnlein, Walter: Kindliche Theorien: „Die Luft ist schuld“. In: Wiesner, H. (Hrsg.): Aufsätze zur Didaktik der Physik II. Festschrift zum 65. Geburtstag von Walter Jung. Bad Salzdetfurth: Franzbecker 1991b, S. 114-124 (= physica didactica, Sonderausgabe)

- Kron, Friedrich W.: Grundwissen Didaktik. München: Reinhardt 1993 (= UTB für Wissenschaft)
- Lamnek, Siegfried: Qualitative Sozialforschung. Bd. 2. Methoden und Techniken. Weinheim: Psychologie-Verlags-Union 31995
- Lankes, Eva-Maria: Wissen aufbauen und anwenden. Was bedeuten die Ergebnisse der Lernforschung für den Unterricht. In: Grundschule, 29(1997)10, S. 10-12
- Leicht, W.: Physik und Chemie in der Grundschule. Lehrerhandbuch. 3. Jahrgangsstufe, München 1973, S. 98-105 und S. 138-140 (Schülerarbeitsheft mit Lösungen)
- Löffler, Gerhard: Analyse von Wahrnehmung und Ausdruck als methodischer Weg zur Einsicht, wie Kinder erkennen. In: Lauterbach, Roland u. a. (Hrsg.): Wie Kinder erkennen. Vorträge des Arbeitstreffens zum naturwissenschaftlich-technischen Sachunterricht am 26. und 27. März 1990 in Nürnberg. Kiel: IPN 1991, S.21-33 (= Probleme und Perspektiven des Sachunterrichts)
- Mandl, Heinz; Friedrich, Helmut F.; Hron, Aemilian: Theoretische Ansätze zum Wissenserwerb. In: Mandl, Heinz; Spada, Hans (Hrsg.): Wissenspsychologie. München, Weinheim: Psychologie Verlags Union 1988, S. 123-160
- Mandl, Heinz; Gruber, H.; Renkl, A.: Lernen im Physikunterricht – Brückenschlag zwischen wissenschaftlicher Theorie und menschlichen Erfahrungen. München: Ludwig Maximilians-Universität, Lehrstuhl für empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie 1993
- Max, Charel: Verstehen heißt Verändern – ‘Conceptual Change’ als didaktisches Prinzip des Sachunterrichts. In: Meier, Richard; Unglaube, Henning; Faust-Siehl, Gabriele (Hrsg.): Sachunterricht in der Grundschule. Frankfurt am Main: Arbeitskreis Grundschule 1997 (= Beiträge zur Reform der Grundschule Bd. 101)
- Mayring, Philipp: Einführung in die qualitative Sozialforschung. Eine Anleitung zum qualitativen Denken. Weinheim: Psychologie-Verlags-Union 21993
- Möller, Kornelia: Lernen im Vorfeld von Physik und Technik. Neuere Untersuchungen zum naturwissenschaftlich-technischen Sachunterricht. In: Wiebel, K. H. (Hrsg.): Zur Didaktik der Physik und Chemie. Probleme und Perspektiven. Bd. 12. Alsbach: Leuchtturm 1992, S. 18-38
- Möller, Kornelia: Untersuchungen zum Aufbau bereichsspezifischen Wissens in Lehr- Lernprozessen des Sachunterrichts. In: Köhlein, Walter; Marquardt-Mau, Brunhilde; Schreier, Helmut (Hrsg.): Kinder auf dem Wege zum Verstehen der Welt. Bad Heilbrunn: Klinkhardt 1997, S. 247-262 (= Forschungen zur Didaktik des Sachunterrichts, Bd. 1)
- Möller, Kornelia; Tenberge, Claudia; Ziemann, Uwe: Technische Bildung im Sachunterricht: Eine quantitative Studie zur Situation an nordrhein-westfälischen Grundschulen. Münster: Selbstverlag 1996 (= Veröffentlichungen der Abteilung Didaktik des Sachunterrichts / Institut für Forschung und Lehre der Primarstufe; Bd.2)
- Niedderer, Hans: Übersicht über Lernprozeßstudien in Physik. In: Duit, Reinders; Rhöneck, Christoph von (Hrsg.): Lernen in den Naturwissenschaften. Beiträge zu einem Workshop an der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg. Kiel: IPN 1996, S. 119-144

- Niedderer, Hans; Goldberg, Fred: Lernprozesse beim elektrischen Stromkreis. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 1(1995)1, S. 73-86
- Niedderer, Hans; Schecker, Horst: Toward an explicit description of cognitive Systems for research in physics learning. In: Duit, Reinders; Goldberg, Fred (Eds.): Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies. Proceedings of an International Workshop held at the University of Bremen, March 4-8, 1991. Kiel: IPN 1992, S. 74-98
- Pfundt, H.; Duit, R.: Bibliographie Alltagsvorstellungen und naturwissenschaftlicher Unterricht. Kiel: IPN 41994
- Piaget, Jean; Inhelder, Bärbel: Von der Logik des Kindes zur Logik des Heranwachsenden. Olten u.a.: Walter 1977
- Posner, G. J.; Strike, K. A.; Hewson, P. W.; Gertzog, W. A.: Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. In: Science Education, 66(1982), S. 211-228
- Reinmann-Rothmeier, Gabi; Mandl, Heinz: Wissensvermittlung: Ansätze zur Förderung des Wissenserwerbs. München: Ludwig-Maximilians-Universität 1994 (=Forschungsbericht Nr. 34)
- Reusser, Kurt; Reusser-Weyeneth, Marianne: Verstehen als psychologischer Prozess und als didaktische Aufgabe: Einführung und Überblick. In: Reusser, Kurt; Reusser-Weyeneth, Marianne (Hrsg.): Verstehen: psychologischer Prozess und didaktische Aufgabe. Bern, Göttingen, Toronto, Seattle: Huber 1994. , S. 9-35
- Richter, Sigrun: Schriftspracherwerb und Interesse. Lehr-Lern-Forschung im grundschulpädagogischen Kontext. Regensburger Beiträge zur Lehr-Lern-Forschung. 1/1998
- Rumelhart, D. E.; Norman, D. A.: Accretion, tuning, and restructuring: Three modes of learning. In: Cotton, J. W.; Klatzky, R. L. (Hrsg.): Semantic factors in cognition. New Jersey 1978, S. 37-53
- Saint-Exupéry, Antoine de: Der kleine Prinz. München: Wilhelm Heyne Verlag 1988 (Originalausgabe Paris 1946)
- Schwedes, Hannelore: Analogie-orientierte Elektrizitätslehre als Aufbau mentaler Modelle. In: Duit, Reinders; Rhöneck, Christoph von (Hrsg.): Lernen in den Naturwissenschaften. Beiträge zu einem Workshop an der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg. Kiel: IPN 1996, S. 275-300
- Scott, P.H.; Asoko, H.M.; Driver, R.H.: Teaching for conceptual change: A review of strategies. In: Duit, R; Goldberg, F.; Niedderer, H. (Hrsg.): Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies; proceedings of an international workshop. Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften 1992, S. 310-329
- Spreckelsen, Kay: Verstehen in Phänomenkreisen. In: Möller, K.; Köhnlein, W.; Soostmeyer, M.; Spreckelsen, K.; Wiesenfarth, G.: Handeln und Denken im Sachunterricht. Münster: Selbstverlag 1995, S. 23-34
- Spreckelsen, Kay: Wie Grundschul Kinder physikalische Phänomene verstehen. In: Grundschule, 29(1997)10, S. 18-19

- Strunck, Ulrich; Lück, Gisela; Demuth, Reinhard: Der naturwissenschaftliche Sachunterricht in Lehrplänen, Unterrichtsmaterialien und Schulpraxis – eine quantitative Analyse der Entwicklung in den letzten 25 Jahren. In: Bayrhuber, Horst; Duit, Reinders; Jung, Walter (Hrsg.): Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften. Biologie, Chemie, Physik, 4(1998)1, Kiel: Verlag Schmidt und Klau-nig 1998, S. 69-81
- Thiel, Siegfried: GrundschulKinder zwischen Umgangserfahrung und Naturwissen-schaft. In: Wagenschein, Martin: Kinder auf dem Weg zur Physik. Weinheim, Basel: Beltz 1990, S. 90-180
- Vosniadou, S.; Brewer, W.F.: Mental models of the day/ night cycle. In: Cognitive Science 1994, 18, S. 123-183
- Vosniadou, S.; Brewer, W.F.: Mental models of the earth: a study of conceptual change in childhood. In: Cognitive Psychology 1992, 24, S. 535-585
- Weinert, Franz E.: Für und Wider die „neuen Lerntheorien“ als Grundlagen pädago-gisch-psychologischer Forschung. In: Zeitschrift für Pädagogische Psycholo-gie, 10(1996)1, S. 1-12
- Wiederrecht, H.: Schwimmen und Sinken. Lehrerheft. Braunschweig: Westermann 1973
- Wiesenfarth, Gerhard : Kontinuität oder Diskontinuität – eine überflüssige Diskussi-on? In: Lauterbach, Roland u. a. (Hrsg.): Wie Kinder erkennen. Vorträge des Arbeitstreffens zum naturwissenschaftlich-technischen Sachunterricht am 26. und 27. März 1990 in Nürnberg. Kiel: IPN 1991, S. 98-122 (= Probleme und Perspektiven des Sachunterrichts Bd. 1)
- Wodzinski, Rita: Untersuchungen von Lernprozessen beim Lernen Newtonscher Dynamik im Anfangsunterricht. Münster: LIT 1996 (= Naturwissenschaft und Didaktik im Gespräch, Bd. 25)
- Wolff, Dieter: Lernen lernen. Wege zur Autonomie des Schülers. In: Meyer, Meinert A.; Rampillon, U.; Otto, G.; Terhart, E. (Hrsg.): Lernmethoden, Lehrmethoden. Wege zur Selbständigkeit. Friedrich-Jahresheft XV. Seelze: Friedrich Verlag 1997, S. 106-108