

Angela Jonen, Kornelia Möller, Ilonca Hardy

Lernen als Veränderung von Konzepten – am Beispiel einer Untersuchung zum naturwissenschaftlichen Lernen in der Grundschule

Einleitung

In der Untersuchung, von der hier berichtet wird, geht es um das Lernen im naturwissenschaftlichen Bereich des Sachunterrichts. Diesem wird z.B. im Perspektivrahmen der Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts und im Rahmen jüngster Lehrplanentwicklungen wieder eine größere Bedeutung beigemessen. Bei entsprechenden Implementationen sollten allerdings Fehlentwicklungen, wie sie im Rahmen des ‚Booms‘ naturwissenschaftlicher Themen in der Grundschule in den 70er Jahren auftraten, möglichst nicht wiederholt werden. Auch die Probleme, die in der Sekundarstufe speziell in den harten Naturwissenschaften Chemie und Physik auftauchen, sollten nicht in die Grundschule vorverlegt werden. Um Überforderungen zu vermeiden, Interessen zu fördern und die Entwicklung von Basiskonzepten bereits in der Grundschule anzuregen, ist eine intensive Erforschung des Lernens von Grundschulkindern bei naturwissenschaftlichen Themen notwendig.

In einem Forschungsprojekt¹ untersuchten wir die Entwicklung physikalischer Basiskonzepte in Abhängigkeit von der Gestaltung von Lehr-Lernumgebungen. Im vorliegenden Beitrag wird der Schwerpunkt auf die Beschreibung kognitiver Lernfortschritte im Sinne von Konzeptwechseln und auf die Erläuterung der Variation der Strukturierung im Unterricht gelegt. Über die Methoden und die Ergebnisse des Projektes wurde bereits an ande-

¹ Das Projekt „Auswirkungen von Unterricht zum ‚Schwimmen und Sinken‘ auf das Verständnis physikalischer Basiskonzepte und den Erwerb inhaltsübergreifender graphisch-visueller Kompetenzen bei Grundschulkindern“ wird in Kooperation zwischen der Universität Münster und dem Max-Planck-Institut für Bildungsforschung Berlin durchgeführt und ist Teil des Schwerpunktprogramms BIQUA (Bildungsqualität von Schule: Fachliches und fächerübergreifendes Lernen im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht in Abhängigkeit von schulischen und außerschulischen Kontexten), das von der DFG gefördert wird.

rer Stelle berichtet (Möller et al. 2002). Eva Blumberg berichtet in diesem Band über die multikriteriale Zielerreichung in dem Projekt.

1. Naturwissenschaftliches Lernen aus entwicklungs- und lernpsychologischer Sicht

In der entwicklungspsychologischen Forschung gibt es zunehmend Befunde, welche die Inhaltsspezifität der geistigen Entwicklung belegen (Sodian 1995, Stern 2002). Demnach können Kinder bereits anspruchsvolle Inhaltsbereiche verstehen und abstrakte Denkleistungen vollbringen, wenn sie genügend Zeit und Gelegenheit zum Wissenserwerb und zum Sammeln und Strukturieren von Erfahrungen haben. Eine frühe schulische Konfrontation mit anspruchsvollen Inhaltsgebieten kann, so konnten Staub & Stern (2002) für mathematische Inhalte zeigen, einen langfristigen Entwicklungsvorsprung verschaffen (Stern 2002). Die Forderung nach einer anspruchsvollen Gestaltung der Lernumgebung von Grundschulkindern ist allerdings nur vor dem Hintergrund einer konstruktiv-genetischen Vorstellung vom Lernen und Denken sinnvoll. So sollte von Seiten der Lehrperson zwar ein vielfältiges Angebot hinsichtlich der Darstellung und Kommunikation von Wissen gemacht werden, ihre Nutzung sollte aber nicht erzwungen werden. Werden Kinder zu Vorgehensweisen gezwungen, die sie nicht verstanden haben, können fundamentale Misskonzepte und Oberflächenstrategien entstehen (Stern 2002).

In Theorien des Wissenserwerbs (z.B. Reinmann-Rothmeier & Mandl 1998) werden Lernprozesse als aktive Konstruktionsprozesse beschrieben. Diese Prozesse werden vom Lernenden selbst gesteuert, können aber durch kooperative Prozesse sowie durch Reflexionsprozesse und Interaktionen mit der Umwelt angeregt werden. Sie werden als situative Prozesse verstanden, was bedeutet, dass Strukturen, die in einer bestimmten Situation aufgebaut wurden, nicht ohne weiteres auch in anderen Situationen angewendet werden können.

Im Bereich der Naturwissenschaften verfügen Schülerinnen und Schüler bereits über teilweise tief in Alltagserfahrungen verankerte Vorstellungen von Phänomenen und Begriffen, mit denen sie in den Unterricht hineinkommen. „In der Regel stimmen diese vorunterrichtlichen Vorstellungen mit den zu lernenden naturwissenschaftlichen zumindest in zentralen Aspekten nicht überein.“ (Duit & Häußler 1997, S. 428) Daher sind Lernprozesse im naturwissenschaftlichen Unterricht überwiegend als tiefgreifende Konzeptwechsel

(conceptual change) zu beschreiben², d.h., die Lernenden müssen die vorhandene Wissensstruktur grundlegend revidieren und neue Strukturen aufbauen, neue Aspekte integrieren oder Strukturen ausdifferenzieren. Dabei muss Konzeptwechsel nicht heißen, dass eine vorhandene Vorstellung aufgegeben wird und durch eine neue ersetzt wird. Es können auch verschiedene Vorstellungen nebeneinander existieren, wobei diesen entweder ein unterschiedlicher Status zugeschrieben wird (Hewson & Hewson 1992) oder die verschiedenen Vorstellungen situationsabhängig aufgerufen werden (Tytler 1994).

Umstrukturierungsprozesse sind anstrengend, mühsam und vielschichtig. Damit Lernende tatsächlich vorhandene Strukturen verändern, müssen verschiedene Bedingungen erfüllt sein. Posner et al. formulieren einige kognitive Bedingungen:

- „a) Unzufriedenheit der Schüler mit ihren bisherigen Vorstellungen;
- b) die neue Vorstellung muss den Schülern verständlich,
- c) sie muss ihnen von Anfang an plausibel und
- d) sie muss in ihrer Anwendung fruchtbar sein.“

(Duit & Häußler 1997, S. 432)

Aber auch emotionale und soziale Gesichtspunkte spielen bei Konzeptwechseln eine Rolle. So kann es von Bedeutung sein, wer eine neue Idee einbringt oder erklärt, oder ob der Lernende daran interessiert ist und so motiviert ist, dass er die nötige Anstrengungsbereitschaft aufbringt. Auch sogenannte Rahmenkonzepte (frameworks) können Einfluss auf Konzeptwechsel haben, z.B. beeinflusst das Bild von Naturwissenschaften, von naturwissenschaftlichen Erklärungen und von Experimenten die Lernprozesse. Tytler (1994) untersuchte Konzeptwechsel bei Grundschulkindern und beschreibt diese als multidimensional. Konzeptwechsel beinhalten Veränderungen konzeptueller Strukturen, die oft komplex und vielfältig sind, aber auch Veränderungen der Beziehungen von Konzepten zu Situationen. Beeinflusst werden Konzeptwechselprozesse durch das Alltagswissen und durch die Möglichkeiten der praktischen Anwendung der Konzepte in unterschiedlichen Situationen.

In der naturwissenschaftsdidaktischen Literatur werden verschiedene Methoden diskutiert: neue Konzepte neben vorhandenen aufbauen, vorhandene Konzepte als Brücken aufnehmen oder kognitive Konflikte auslösen (Häußler et al. 1998). Gemeinsam ist ihnen, dass die Präkonzepte eine we-

² Die hier gemeinten Konzeptwechsel werden in der Literatur auch als harte oder radikale Konzeptwechsel bezeichnet, bei denen der Lernende vorhandene Schemata umstrukturieren muss. Weiche Konzeptwechsel knüpfen an vorhandenen Vorstellungen an und erweitern oder differenzieren diese. In jedem Lernprozess gibt es in der Regel ein subtiles Wechselspiel beider Prozesse (Möller 1999).

sentliche Rolle spielen und die Lernumgebung so gestaltet sein muss, dass die Schülerinnen und Schüler selbst angemessene Konzepte entwickeln und anwenden können, um sich von der Fruchtbarkeit der Erklärungen überzeugen zu können, aber auch um die Grenzen von Konzepten erfahren zu können. Die häufigste im Unterricht angewandte Strategie ist wohl die Konfliktstrategie. Darunter wird verstanden, dass Lernende zuerst in einer Situation die Grenzen vorhandener Vorstellungen erkennen, wenn sie z.B. eine Situation nicht mit vorhandenen Ideen erklären können³. Hier zeigt sich eine besondere Sichtweise von Fehlern. Nur durch ‚Fehleinschätzungen‘ einer Situation, durch ‚Fehldeutungen‘, die auch offensichtlich werden, können Konzepte erkannt und deren Grenzen festgestellt werden. Das heißt, die Strategie, Fehler zu vermeiden, hilft nicht weiter, sondern Fehler sollten ermöglicht, aufgespürt und ihre Ursachen verstanden werden. Aufgabe des Pädagogen scheint zu sein, „die Schüler zu aktivieren, zu eigenen Denkanstrengungen zu ermutigen, sie bei der produktiven Überwindung von Schwierigkeiten und Fehlern zu unterstützen, ihnen beim Aufbau einer wohlorganisierten Wissensbasis behilflich zu sein und ihnen notwendige remediale Unterstützung zukommen zu lassen“ (Helmke & Weinert 1997, S. 130-131).

Aus den Theorien zum Konzeptwechsel wurden Anregungen für die Gestaltung von Lernumgebungen abgeleitet, die Konzeptwechsel begünstigen (Duit 1996, Duit & Häußler 1997, Dubs 1997):

- Ein Unterricht, der aktive Umstrukturierungsprozesse im intendierten Sinn anregt, sollte erfahrungsorientiert sein und die Vorerfahrungen, Vorkenntnisse und Erklärungen der Lernenden aufgreifen.
- Die Kinder müssen selbst explorierend mit Materialien umgehen und experimentieren.⁴
- Zeiten und Räume (ggf. ritualisiert) für den intensiven Austausch und die Diskussion sollten das gemeinsame Aushandeln von Erklärungen ermöglichen und anregen.

³ Es ist nicht einfach Lernumgebungen so zu gestalten, dass alle Lernenden kognitive Konflikte erfahren, da die Präkonzepte, mit denen die Lernenden die Situation deuten, unterschiedlich sind und entsprechend die Situation auch ganz verschieden verstanden wird bzw. sehr unterschiedliche Situationen an Grenzen führen können.

⁴ Schwierigkeiten tauchen bei herkömmlichen Schüler- oder Demonstrationsexperimenten auf, weil die Versuche von den Kindern vor dem Hintergrund der vorhandenen Vorstellungen zu ganz anderen Deutungsmustern führen können oder eben die vorgesehenen Phänomene gar nicht erkannt werden. Daher erscheinen offene Experimente sinnvoller als vorgegebene Versuche (Reinhold 1996).

- Materialien und Impulse sollten so gewählt sein, dass ggf. kognitive Konflikte erfahren werden können und dass entwickelte Erklärungen immer wieder in neuen Kontexten angewendet werden, die möglichst lebensweltnah sind.
- Die Schülerinnen/ Schüler sollten immer wieder zum Begründen, Weiterdenken, Vergleichen, Anwenden und Zusammenfassen angeregt werden.
- Metakognitive Prozesse spielen eine wichtige Rolle und müssen gerade im Grundschulbereich gefördert werden.⁵
- Ein hoher Grad der Selbststeuerung begünstigt motivationale Faktoren und ermöglicht individuelle, für die verschiedenen Vorerfahrungen angemessene Lernwege.
- Die Lernenden müssen für sie bedeutsame Fragen bearbeiten, Kompetenz erleben können und immer wieder ermutigt werden, wenn sie aufwendige und anstrengende Lernprozesse selbst in Angriff nehmen und über einen längeren Zeitraum verfolgen sollen.

2. Konzeptwechsel beim Themenbereich „Schwimmen und Sinken“

Das Phänomen des Schwimmens lässt sich über verschiedene Ansätze erklären, wobei die Größen Kraft, Gewicht und Volumen eine Rolle spielen und in komplexe Zusammenhänge gebracht werden müssen:

- Die beiden entgegengesetzten Kräfte, Gewichtskraft und Auftriebskraft, müssen ausbalanciert sein, damit ein Gegenstand schwimmt.
- Wenn ein Gegenstand schwimmt, dann wiegt das Wasser, das er verdrängt, genauso viel wie der Gegenstand selbst, wobei das verdrängte Wasser das gleiche Volumen wie der eingetauchte Teil des Gegenstandes hat.
- Ist die Dichte des Gegenstandes kleiner als die des Wassers, dann schwimmt der Gegenstand.

Grundschul Kinder haben bereits vielfältige Erfahrungen mit dem Phänomen Schwimmen und Sinken beim Spielen, Schwimmen, Spülen usw. gemacht, und sie haben Erklärungen aufgebaut, die die beobachteten Phänomene erklären. Sehr häufig sind Konzepte wie: „Alles was schwer ist, geht unter, alles was leicht ist schwimmt“ (Gewichtskonzept) oder „Alles, was Löcher hat, geht unter, alles, was flach ist, schwimmt“ (Formkonzept). Auch der Luft

⁵ Diesen Aspekt stellt besonders das Projekt von Grygier, Günther, Kircher, Sodian & Thoermer in diesem Band heraus im Hinblick auf das wissenschaftsverständige Denken.

wird eine wichtige Rolle zugeschrieben: „Alle Sachen, in denen Luft ist, schwimmen, weil Wasser und Luft sich nicht vertragen“ oder „Weil Luft immer nach oben will und die Sachen dann mit hochzieht“ oder „Sachen, in denen Luft ist, schwimmen, weil Luft ganz leicht ist und leichte Sachen schwimmen“ (Luftkonzept).

In Tabelle 1 sind einige Beispiele zusammengestellt, wie Drittklässler vor bzw. nach dem Unterricht erklären, warum ein Schiff nicht untergeht. Diese Beispiele verdeutlichen, dass einige Kinder ihre vorhandenen Vorstellungen im Verlauf des Lernprozesses als falsch erkannt haben, wie Kind A, und neue Erklärungen entwickelt haben. Andere Kinder (Kind F) haben ihre Erklärungen beibehalten und einen oder mehrere Aspekte zusätzlich aufgegriffen. Bei den meisten Kindern wird aus diesen Antworten nicht deutlich, ob sie ihre Vorstellungen, die sie vor dem Unterricht hatten, ganz aufgegeben haben oder den neuen Konzepten zumindest für die Fragebogensituation nur einen höheren Status beimessen. Dazu erhält man Hinweise in Fragen mit geschlossenem Antwortformat, wo Kinder Erklärungen, die sie vor dem Unterricht selbst formuliert haben, nach dem Unterricht ablehnen. Die Kontextabhängigkeit der Erklärungen wird deutlich, wenn ein Kind das Schwimmen eines Schiffes z.B. über den Dichtevergleich erklärt, aber auch nach dem Unterricht meint, dass ein Holzbrett mit Löchern untergeht, weil es Löcher hat (Jonen et al. im Druck).

Auch inhaltlich werden notwendige Umstrukturierungsprozesse der Kinder deutlich. Ein wesentlicher Aspekt, der auch in vorherigen Untersuchungen schon beschrieben wurde (Haru 2000, Klewitz 1989), ist die Bedeutung des Wassers für das Schwimmverhalten von Gegenständen. Das Wasser wird in den wenigsten Erklärungen der Kinder vor dem Unterricht berücksichtigt. Die Rolle des Wassers muss also ganz neu erkannt und ggf. in vorhandene Vorstellungen integriert werden. Hingegen muss das sehr stabile Luftkonzept verworfen werden, soweit damit eine aktive Rolle der Luft gemeint ist. Hier ist ein Konzeptwechsel von der Vorstellung „Luft steigt immer nach oben“ und „Luft saugt“ notwendig hin zu der Vorstellung „Luft hat Gewicht“. Die Erklärung „Ein Schiff schwimmt, weil es hohl ist oder weil Luft im Schiff ist“, muss ausdifferenziert werden: Luft ist ein sehr leichtes Material und somit ist das Schiff leichter, wenn es mit Luft gefüllt ist, als wenn es ganz aus Metall wäre oder wenn es z.B. mit Wasser gefüllt wäre. Das Schiff ist also wegen der Luft so leicht wie das Wasser, das es verdrängt. Die Kinder können die Schwimmfähigkeit auch über ein Gegenspiel der Kräfte erklären: „Das Schiff ist so leicht, dass es vom Wasser nach oben gedrückt werden kann. Das Wasser gewinnt gegen das Gewicht.“ (vgl. Antwort von Kind H).

Kind	Vor dem Unterricht	Nach dem Unterricht
A	Vär leich wegen den Luft	Das ligt Nicht an der luft das ligt auch Nicht an das glachgewicht es ligt an den Wasser
B	Weil unter dem Schiff Kugeln mit Luft ist	Weil die Gleiche menge Wasser schwerer ist als das Schiff und weil das Schiff so groß und so viel Platz wegnimmt. Das Wasser will den Platz zurück haben und drückt das Schiff nach oben.
C	Wal die Luft das Schiff hebt. Wal das Schf aus bestimmten metal gebaut ist. Wal das Schif Luft ab lest.	Weil die gleiche mänge Wasser schwerer ist als das Schiff und weil das Wasser das Schiff hoch drückt.
D	An der Seite rechts, lings sind grose Löcher wo das Wasser herauslaufen kann. Darum geht es nicht unter dencke ich!	Das Schiff ist leichter als das Wasser als es verdrängt!!!!!!!!!!!!!!
E	Auf dem Schiff ist ein Kapiten. Das Schiff tragt schwere sache. Zum beischbil Fische, Öl und Kole	Das Wasser will auf sein alten Platz zurück, und das Wasser drückt ihn nach oben.
F	Es wird betrieben	Es wird betriben und weil es innen hol ist
G	Es ist flach. Und es hält gleichgewicht.	Das Schiff hat Vulumen. Es ist schwer. Um so größer das Schiff um so mehr Wasser kann es weg-drängen. Das Wasser will wieder an seinen alten Platz zurück.
H	Weil der Schifsbau ein bischen gebogen ist.	Die Erdanziehungskraft zieht das Bott nach untern. Das Wasser drückt es nach oben, aber das Wasser gewint

Tab. 1: Erklärungen von Drittklässlern

3. Zum Unterricht

Uns stellte sich die Frage, wie die Lehrperson solche komplexen Lernprozesse unterstützen kann. Die Problemstellung: „Wie kommt es, dass ein Schiff schwimmt?“ kann auf sehr unterschiedlichen Wegen bearbeitet werden. Dabei müssen verschiedene Teilaspekte berücksichtigt werden, die in unterschiedlicher Reihenfolge bearbeitet werden können. Zudem haben Kinder im dritten Schuljahr häufig noch sehr wenig Vorerfahrungen mit wissenschaftlichen Arbeitsweisen und physikalischen Deutungen.

In mehreren Pilotstudien, anfangs mit kleinen Kindergruppen, später mit ganzen Schulklassen (Möller 1999, Engelen et al. 2002), untersuchten wir, welche Materialien und Versuche geeignet sind, um die Grenzen von vor-

handenen Erklärungen deutlich zu machen (Es gibt auch leichte, flache, hohle Gegenstände oder Holzsorten, die untergehen, und es gibt schwere Dinge, Gegenstände mit Löchern oder Hohlkörper, die keine Schiffsform haben, die schwimmen.) und welche sprachlichen Formulierungen Kinder wählen, bzw. welche Formulierungen ihnen helfen, die Zusammenhänge zu verstehen. Diese sind oft anthropomorph (vgl. Wagenschein 1992).

Als tragende Strategie des Unterrichts sollte die Konfliktstrategie berücksichtigt werden. Die bei den meisten Kindern bereits bekannte Beobachtung „das Wasser steigt, wenn man einen Gegenstand eintaucht“, kann als Anknüpfungspunkt genutzt werden, um die Aufmerksamkeit auf die Rolle des Wassers zu lenken. Um die Auftriebskraft im Wasser kennen zu lernen, waren überzeugende Erfahrungen am eigenen Körper im Schwimmbad hilfreich.⁶ Die Entdeckung, dass alle Sachen vom Wasser nach oben gedrückt werden, auch die, die untergehen, weil das Wasser an seinen Platz zurück will, ist für Kinder plausibel, logisch und sehr fruchtbar.

4. Strukturierung als Mittel der Optimierung in konstruktivistisch orientierten Lehr-Lernumgebungen

Methodisch sollte der Unterricht den oben beschriebenen Merkmalen gerecht werden, um Konzeptwechsel zu unterstützen. Forschungsbefunde haben allerdings gezeigt, dass eine zu große Komplexität von Lernsituationen wie auch ein zu großes Ausmaß an Selbststeuerung unter Umständen zu Problemen führen kann (vgl. Weinert 1996, Stark et al. 1998, Möller et al. 2002). Deshalb wird eine Balance von Selbststeuerung und Komplexitätsreduktion gefordert (Friedrich & Mandl 1997).

Auch Untersuchungen zur Unterrichtsqualität weisen auf einen optimalen Grad der Strukturierung als wichtiges Indiz für Unterrichtsqualität hin (Gruehn 1995). Der Grad der erforderlichen Strukturierung hängt von den Lernvoraussetzungen der Schüler und dem zu lernenden Inhalt ab. Einsiedler (1996) und Lipowsky (2002) weisen im Grundschulbereich auf die Notwendigkeit von Strukturierungshilfen hin, die eine zu große Komplexität der Lernsituation vermeiden helfen. In stark selbstgesteuerten und wenig strukturierten Lernumgebungen ist häufig das Niveau der kognitiven Verarbeitung

⁶ Viele Kinder meinen, Wasser würde Gegenstände nach unten ziehen oder saugen oder runterdrücken und nur, indem die Dinge schnell bewegt werden (durch Motoren, Strömungen, Wind, Muskelkraft etc.), kann verhindert werden, dass sie untergehen. Daraus resultiert nicht selten Angst vor dem Wasser und dem Schwimmen.

gering. Auch die Fokussierung relevanter Merkmale scheint einer Hilfe zu bedürfen. Dies gilt insbesondere für Lernende mit geringem, wenig strukturiertem und intuitivem Vorwissen in einem Inhaltsbereich, für den nur wenige Lernstrategien bereit stehen.

5. Design, Fragestellung und Hypothesen

Ausgehend von einer konstruktivistischen Lehr-Lernumgebung variierten wir das Maß der Strukturierung. In einem Messwiederholungsdesign mit zwei Experimentalgruppen wurde untersucht, welchen Einfluss ein höherer Grad der Strukturierung in konstruktivistisch orientierten Lehr-Lernumgebungen auf den Erwerb eines Basisverständnisses physikalischer Konzepte hat. Wir erwarteten, dass ein konstruktivistisch orientierter Unterricht mit höherem Grad der Strukturierung (im Folgenden kurz: MIT) den Aufbau physikalischer Basiskonzepte eher begünstigt als ein konstruktivistisch orientierter Unterricht mit geringerer Strukturierung (OHNE), da ein strukturierterer Unterricht eher die Aufgabe von Konzepten begünstigt und die Integration verschiedener Konzepte gezielter unterstützen kann. Die Effekte dieser Variationen auf das physikalische Verständnis wurden in Abhängigkeit von den kognitiven Eingangsvoraussetzungen untersucht. Wir erwarteten, dass insbesondere Schüler mit ungünstigen Eingangsvoraussetzungen von einem höheren Maß an Strukturierung profitieren.

Zur Variation:

Es wurden zwei Unterrichtsformen entwickelt, die jeweils acht Doppelstunden umfassen. In beiden Reihen wurden dieselben Materialien bereitgestellt sowie weitestgehend die gleichen Arbeitsblätter und Arbeitsaufträge. Die Unterrichtsformen unterschieden sich allerdings im Grad der Strukturierung. Die Gruppe, die einen strukturierteren Unterricht erhielt (MIT), erarbeitete das Konzept sequenziert in Teilfragen, die zwar nicht kleinschrittig und losgelöst von dem komplexen Problem erarbeitet werden sollten, aber orientiert an den Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler und ihren Lernschwierigkeiten Teilaspekte des komplexen Konzeptes herausgriffen. Nach einer gemeinsamen Diskussion der Frage: „Wie kommt es, dass ein riesiges schweres Schiff aus Eisen im Wasser nicht untergeht?“ erfolgte die Untersuchung der Frage: „Was schwimmt und was sinkt“, wobei die Kinder zuerst die Grenzen ihrer eigenen Konzepte entdecken konnten und dann nach allgemeingültigeren Erklärungen suchten (Material- und Dichtekonzept). Daran schloss sich die Frage an, was eigentlich mit dem Wasser passiert, wenn man

einen Gegenstand hineintaucht, um dann im Schwimmbad die Rolle des Wassers eindrücklich am eigenen Körper zu erfahren und anschließend die verschiedenen neu aufgebauten Konzepte auszudifferenzieren (die auftriebende Kraft ist abhängig vom Volumen des verdrängten Wassers und von der Dichte der Flüssigkeit) und zu möglichst logischen, tragfähigen und widerspruchsfreien Erklärungen zu integrieren. Zu allen Teilaspekten gab es sowohl stark strukturierte Aufgabenstellungen und vorgegebene Versuche als auch ein offenes Materialangebot. Das Lernangebot konnte in Gruppenarbeit oder an Stationen bearbeitet werden.

Den Kindern der anderen Gruppe, die einen Unterricht mit einem geringeren Grad der Strukturierung erhielten (OHNE), standen während der gesamten Zeit die Materialien und Versuche zu allen Teilaspekten zur Verfügung. Im inhaltlichen Bereich war hier die Wahlmöglichkeit größer. Die Kinder konnten Teilaspekte entsprechend ihrer eigenen Fragen in unterschiedlicher Reihenfolge bearbeiten. Die Problemstellung sowie die Methode forschenden Lernens waren vorgegeben, wozu aber das offene Materialangebot sowie die Stationen und Gruppenarbeitsaufträge des MIT-Unterrichts in beliebiger Reihenfolge, allerdings mit dem Angebot einer Struktur, genutzt werden konnten. In der vierten Doppelstunde besuchten auch diese Klassen das Schwimmbad. Die Selbstkontrolle war in beiden Gruppen anhand der Anwendung neuer Konzepte in vielfältigen Situationen sowie in der Diskussion möglich. Die Wahl der Partner (Einzel-, Partner- oder Gruppenarbeit) sowie die Wahl der Arbeitszeit an den Stationen und dem offenen Materialangebot waren in beiden Gruppen frei.

Neben der Sequenzierung wurde der Grad der Strukturierung durch die Lehrperson in den Klassengesprächen variiert, die in der Gruppe MIT anteilmäßig länger waren. Die Lehrerin achtete in der Gruppe MIT während der Klassengespräche stärker als in der OHNE Gruppe darauf, dass das Gespräch nicht zwischen unterschiedlichsten Aspekten hin und her sprang, um die Sequenzierung auch hier einzuhalten. Sie gab häufiger als in OHNE Rückmeldungen an die gesamte Klasse zu den entwickelten Erklärungen und stellte häufiger Widersprüche heraus, forderte immer wieder Begründungen und Zusammenfassungen ein und half bei der Fokussierung der Aufmerksamkeit durch Hilfen bei Präsentationen, Tafelskizzen und Verschriftlichungen.

In der OHNE Gruppe bestimmten die Kinder die Reihenfolge der zu besprechenden Aspekte. Die Lehrperson half hier bei der Organisation, der Einhaltung der Gesprächsregeln und dem Ablauf, beschränkte sich ansonsten auf Tipps für die Strukturierung, forderte Vergleiche, Begründungen, Präsentationen und das Hinterfragen heraus und fasste wesentlich seltener als in

MIT den Stand der Schülerforschungen zusammen. Die Kinder erhielten individuelle Rückmeldungen von der Lehrperson in ihren Forschermappen. Beide Gruppen wurden von derselben Lehrperson unterrichtet.

Zum Design:

Die beiden Unterrichtsreihen wurden in jeweils drei dritten Klassen mit insgesamt 149 Kindern (65 Mädchen, 84 Jungen) durchgeführt. Zwei dritte Klassen aus zwei weiteren Schulen mit 41 Kindern (27 Mädchen, 14 Jungen) dienten als Vergleichsgruppe ohne Unterricht (Basisgruppe). Die Klassen wurden hinsichtlich vergleichbarer Einzugsgebiete, vergleichbarer Klassengrößen und vergleichbarer Vorerfahrungen sowohl mit offenen als auch mit geschlossenen Lernformen ausgewählt. Alle Klassen hatten wenig schulische Vorerfahrungen mit physikalischen Themen. Die Auswahl erfolgte in Zusammenarbeit mit der Bezirksregierung, den Schulleitungen und Klassenlehrern. Vor und nach dem Unterricht füllten alle Kinder einen Fragebogen aus, der in 14 Multiple-Choice-Items und drei Fragen mit offenem Antwortformat die Erklärungen zum Schwimmen und Sinken in unterschiedlichen Situationen erhob. Nach dem Unterricht wurde zusätzlich ein Transferfragebogen gestellt. Die Fragen dieses Tests beziehen sich auf die Anwendung des Dichtekonzepts und des Auftriebskonzepts in neuen, nicht im Unterricht behandelten Kontexten mit drei Items offenen Antwortformats und 12 Multiple-Choice-Items. Der gesamte Unterricht wurde videografiert.

Screening des Unterrichts:

Um die Einhaltung der Variation (Grad der Strukturierung) zu prüfen, wurden zwei Verfahren durchgeführt. Zum einen ordneten 12 unabhängige Beobachter nach einer Beschreibung der Unterschiede die Videoaufnahmen der Stunden den Gruppen MIT und OHNE zu. Dies gelang in 45 von 48 Stunden, lediglich drei Stunden der Gruppe OHNE wurden für MIT-Stunden gehalten.

Außerdem wurden in 30% aller Klassengespräche Zeitintervalle von zehn Sekunden hinsichtlich der Art der Schüler- und Lehreräußerungen von mehreren Kodiererinnen kodiert. Die Intercoderreliabilität betrug 80%, die Klassengespräche wurden zufällig ausgewählt, wobei alle Klassen und alle Stunden (1.-8. Doppelstunde außer der Schwimmbadstunden) berücksichtigt wurden. In Tabelle 2 sind die Ergebnisse dargestellt, die signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen hinsichtlich der Anteile strukturierender Lehreräußerungen zeigen, die in MIT mit 41% im Vergleich zu OHNE mit 20% häufiger vorkommen. Strukturierende Lehreräußerungen sind Zusammenfassungen der Lehrperson oder Aussagen wie: „Suse hat das gesagt, Peter das,

was stimmt denn nun?“ Oder: „Ihr habt jetzt verschiedene Ideen genannt. Es könnte an der Größe liegen oder am Gewicht oder an der Luft. Wie kann man überprüfen, ob es an der Größe liegt?“

Unterschiedlich ist auch der Anteil der organisatorischen Lehreräußerungen, z.B. der Äußerungen, die das Gespräch in Gang halten („Möchte noch jemand etwas vorstellen?“ „Nehmt euch gegenseitig dran.“), die die räumliche Organisation betreffen („Stell das doch hier her.“) bzw. die auf die Einhaltung von Regeln abzielen. Diese Äußerungen kommen in OHNE signifikant häufiger vor als in MIT (Lehrer sonstige: OHNE 20%, MIT 9%).

Auch die Art der Schüleräußerungen ist signifikant unterschiedlich; so reagieren die Kinder im MIT-Unterricht häufiger auf Impulse oder Fragen der Lehrperson (Schüler reagiert auf Lehrer: OHNE 23%, MIT 31%), während im OHNE-Unterricht häufiger eigene Beiträge eingebracht (Schüler aktiv: 10% OHNE, 4% MIT) oder Reaktionen auf Beiträge von Mitschülern geäußert werden (Schüler reagiert auf Schüler: OHNE 14%, MIT 4%). Die Kodierungen zeigen, dass auch in den Unterrichtsgesprächen die Variation eingehalten wurde.

Kategorie	MIT	OHNE
Lehrer strukturiert	41	20
Lehrer passiv	8	6
Lehrer sonstige	9	20
Schüler aktiv	4	10
Schüler reagiert auf Schüler	4	14
Schüler reagiert auf Lehrer	31	23
Schüler sonstige	3	4
Akustisch unverständlich	1	2

Tab. 2: Anteil der Art der Lehrer- und Schüleräußerungen an den Unterrichtsgesprächen in 30% der Stunden (in Prozent, Werte gerundet)

6. Ergebnisse

Zur Erfassung des Lerngewinns in den Unterrichtsformen MIT und OHNE wurden 2 (Zeit) x 2 (Gruppe) Messwiederholungsanalysen mit den Summenwerten des Tests zum Schwimmen und Sinken durchgeführt. Um einer Erhebung der Konzeptwechsel gerecht zu werden, ging in den Summenwert sowohl eine Bepunktung der korrekt abgelehnten, nicht belastbaren Konzepte

wie auch der korrekt angenommenen physikalischen Erklärungen bzgl. Dichte und Auftrieb ein.

Die Ergebnisse zeigten einen deutlichen Lerngewinn der Kinder beider Gruppen. Die Gruppe MIT wies einen höheren Lernzuwachs auf als die Gruppe OHNE. Auch die Basisgruppe verbesserte sich leicht, aber signifikant von Prä- zu Posttest, was vor allem auf die Zunahme richtiger Antworten beim Materialkonzept zurückzuführen ist und durch Alltagserfahrungen erklärt werden kann, deren Reflexion durch den Test angeregt wurden. Um zu erheben, wie die Konzeptwechsel gestaltet sind, ob also die Kinder zwar neue Konzepte aufgebaut haben, aber die alten weiterhin anwenden, untersuchten wir speziell die Ablehnung der Fehlkonzepte. Es zeigte sich wie erwartet eine signifikante Abnahme der Fehlkonzepte für beide Experimentalgruppen, nicht aber für die Basisgruppe, wobei die Gruppe MIT signifikant mehr Fehlkonzepte abbaute als die Gruppe OHNE (Möller et al. 2002).

Auch bei der Bearbeitung der Transferaufgaben erreichen die Kinder der Gruppe MIT einen signifikant höheren Gesamtsummenwert als die Gruppe OHNE. Beide Unterrichtsgruppen unterscheiden sich zudem signifikant von der Basisgruppe.

Vor dem Unterricht ließen wir die Schülerinnen und Schüler durch die Klassenlehrerinnen und -lehrer hinsichtlich des problemlösenden Denkens auf einer Skala von 1-16 einschätzen. Ausgehend von der Verteilung des Lehrerurteils bildeten wir zwei Extremgruppen besonders leistungsschwacher und besonders leistungsstarker Mädchen und Jungen. Hier zeigt sich, dass sowohl die leistungsstarken als auch die leistungsschwachen Schülerinnen und Schüler signifikant dazulernten. Die Kinder mit ungünstigen Voraussetzungen lernten allerdings in der Gruppe MIT deutlich mehr dazu als in der Gruppe OHNE. Für die Kinder mit günstigen Voraussetzungen gab es keinen Leistungsunterschied zwischen den beiden Gruppen. Gemäß unseren Erwartungen profitierten also Kinder mit guten Lernvoraussetzungen gleichermaßen von beiden Unterrichtsformen, während der Unterricht MIT insbesondere für leistungsschwächere Kinder von Vorteil war.

Vergleicht man die im Prä- und Posttest gegebenen schriftlichen, offenen Antworten zu der Frage: „Wie kommt es, dass ein großes, schweres Schiff aus Eisen nicht untergeht?“, so zeigt sich, dass nicht belastbare Konzepte wie „Motor“, „Kapitän“, aber auch das Alltagskonzept „Luft“ die Erklärungen in der Präbefragung dominierten. In der Nachbefragung wird dagegen die entscheidende Rolle des Wassers für die Auftriebskraft betont. Dabei werden Zusammenhänge zwischen der Verdrängung, der Auftriebskraft und dem Schwimmen und Sinken von Gegenständen hergestellt. Auch in der Aus-

wertung der offenen Fragen ergibt sich eine Überlegenheit der Gruppe MIT hinsichtlich der Nennung ausbaufähiger physikalischer Vorkonzepte, während die Kinder der Gruppe OHNE eher ausbaufähige Konzepte wie das Materialkonzept oder das Hohlkörperkonzept zur Begründung anführen. Für beide Gruppen gilt aber, dass die Kinder nicht belastbare Konzepte aufgeben und neue belastbare oder sogar ausbaufähige vorphysikalische Konzepte erworben oder ausgebaut haben, die sie in verschiedenen Situationen anwenden können (Jonen et al. im Druck).

7. Fazit

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass beträchtliche Lernerfolge im Hinblick auf die Aufgabe nicht belastbarer und den Aufbau angemessener Konzepte im naturwissenschaftlichen Bereich des Sachunterrichts möglich sind. Bei einem sehr komplexen und hochstrukturierten Thema, zu dem die Kinder oft intuitives, wenig strukturiertes Vorwissen haben, erwies sich ein höherer Anteil von Strukturierungsanteilen in konstruktivistisch orientierten Lehr-Lernumgebungen für Konzeptwechsel förderlich. So wurden insbesondere Kinder mit ungünstigen Lernvoraussetzungen in dem Unterricht mit einem höheren Grad der Strukturierung besser unterstützt.

Die Auswertungen des Screenings zu den Äußerungen in den Klassengesprächen im Unterricht zeigen, dass der Anteil der Äußerungen, in denen sich Kinder von sich aus in den Unterricht einbringen und eigene Fragen stellen, in dem Unterricht, in dem sich die Lehrperson stärker zurücknimmt, größer ist. Da das eigenständige Denken und selbstständige Erarbeiten von Zusammenhängen eines der wichtigsten Ziele im Grundschulunterricht ist, sollte die Gestaltung der Lernumgebung dies fördern. Allerdings zeigen die Ergebnisse, dass bei einem solchen komplexen Thema die Lernprozesse, die hier sowohl die Aufgabe bestehender Vorstellungen als auch den Aufbau und die Integration neuer Vorstellungen beinhalten, durch einen höheren Grad der Strukturierung besser gefördert werden können. Dies gilt insbesondere für Kinder mit ungünstigen Lernvoraussetzungen. Die Strukturierung wurde in diesem Projekt durch eine Verminderung der Komplexität und eine stärker strukturierende, aber kognitiv aktivierende Gesprächsführung in einer offenen Unterrichtsform erreicht. Die Entscheidung für die Vorgehensweise im Unterricht sollte auch hinsichtlich des Grades der Strukturierung von den Voraussetzungen der Lernenden und dem Lerngegenstand abhängig gemacht werden. Dazu muss die Lehrperson die Vorkenntnisse der Schüler kennen

und verstehen und einen guten fachlichen Überblick haben, um die notwendigen Lernprozesse einschätzen zu können.

Literatur

- Dubs, R. (1997): Der Konstruktivismus im Unterricht. In: Schweizer Schule 84, S. 26-36.
- Duit, R. (1996): Lernen als Konzeptwechsel im naturwissenschaftlichen Unterricht. In: R. Duit & C. v. Rhöneck (Hrsg.): Lernen in den Naturwissenschaften. Beiträge zu einem Workshop an der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg. Kiel: IPN, S. 145-162.
- Duit, R. & P. Häußler (1997): Physik und andere naturwissenschaftliche Lernbereiche. In: F. E. Weinert (Hrsg.): Psychologie des Unterrichts und der Schule. Göttingen: Hogrefe, S. 427-460.
- Einsiedler, W. (1996): Wissensstrukturierung im Unterricht. Neuere Forschung zur Wissensrepräsentation und ihre Anwendung in der Didaktik. In: Zeitschrift für Pädagogik 42, S. 167-192.
- Engelen, A.; A. Jonen & K. Möller (2002): Lernfortschrittsdiagnosen durch Interviews – Ergebnisse einer Pilotstudie zum „Schwimmen und Sinken“ im Sachunterricht der Grundschule. In: K. Spreckelsen, K. Möller & A. Hartinger (Hrsg.): Ansätze und Methoden empirischer Forschung zum Sachunterricht. Forschungen zur Didaktik des Sachunterrichts, 5. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, S. 155-173.
- Friedrich, H. F. & H. Mandl (1997): Analyse und Förderung selbstgesteuerten Lernens. In: F. E. Weinert & H. Mandl (Hrsg.): Psychologie der Erwachsenenbildung. Enzyklopädie der Psychologie, 4. Göttingen: Hogrefe, S. 237-293.
- Gruehn, S. (1995): Vereinbarkeit kognitiver und nicht-kognitiver Ziele im Unterricht. In: Zeitschrift für Pädagogik 41, S. 531-553.
- Häußler, P.; W. Bünder, R. Duit & J. Mayer (1998): Naturwissenschaftsdidaktische Forschung - Perspektiven für die Unterrichtspraxis. Kiel: IPN.
- Haru, S. (2000): Changes in Childrens' Conceptions through Social Interaction in Preschool Science Education. Publications in Education No 60. Joensuu: University of Joensuu.
- Helmke, A. & F. E. Weinert (1997): Bedingungsfaktoren schulischer Leistungen. In: F. E. Weinert (Hrsg.): Psychologie des Unterrichts und der Schule. Göttingen: Hogrefe, S. 71-176.
- Hewson, P. & M. Hewson (1992): The status of students' conceptions. In: R. Duit, F. Goldberg & H. Niederer (Eds): Research in physics learning – theoretical issues and empirical studies. Kiel: IPN, pp. 59-73.
- Jonen, A.; I. Hardy & K. Möller (im Druck): Schwimmt ein Holzbrett mit Löchern? – Erklärungen von Kindern zum Schwimmen und Sinken verschiedener Gegenstände vor und nach dem Unterricht. Erscheint in: Jahrbuch Grundschule 2003.
- Klewitz, E. (1989): Zur Didaktik des naturwissenschaftlichen Unterrichts. Eine Untersuchung von Unterrichtsmodellen am Beispiel von "Schwimmen und Sinken" vor dem Hintergrund der genetischen Erkenntnistheorie Piagets. Naturwissenschaften und Unterricht, 3. Mülheim/Ruhr: Westarp.
- Lipowsky, F. (2002): Zur Qualität offener Lernsituationen im Spiegel empirischer Forschung – Auf die Mikroebene kommt es an. In: U. Drews & W. Wallrabenstein (Hrsg.): Freiarbeit in der Grundschule. Offener Unterricht in Theorie, Forschung und Praxis. Frankfurt: Grundschulverband, S. 126-159.

- Möller, K. (1999): Konstruktivistisch orientierte Lehr-Lernprozessforschung im naturwissenschaftlich-technischen Bereich des Sachunterrichts. In: W. Köhnlein, B. Marquardt-Mau & H. Schreier (Hrsg.): *Vielperspektivisches Denken im Sachunterricht. Forschungen zur Didaktik des Sachunterrichts*, 3. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, S. 125–191.
- Möller, K.; A. Jonen, I. Hardy & E. Stern (2002): Die Förderung von naturwissenschaftlichem Verständnis bei Grundschulkindern durch Strukturierung der Lernumgebung. In: M. Prenzel & J. Doll (Hrsg.): 45. Beiheft der Zeitschrift für Pädagogik. *Bildungsqualität von Schule: Schulische und außerschulische Bedingungen mathematischer, naturwissenschaftlicher und überfachlicher Kompetenzen*. Weinheim, Basel: Beltz, S. 176-191.
- Reinhold, P. (1996): *Offenes Experimentieren und Physiklernen*. Kiel: IPN.
- Reinmann-Rothmeier, G. & H. Mandl (1998): Wissensvermittlung. Ansätze zur Förderung des Wissenserwerbs. In: N. Birbaumer et al. (Hrsg.): *Wissen*. Göttingen, Bern, Toronto, Seattle: Hogrefe, S. 457-500.
- Sodian, B. (1995): Entwicklung bereichsspezifischen Wissens. In: R. Oerter & L. Montada (Hrsg.): *Entwicklungspsychologie*. Weinheim: Psychologie Verlags Union, S. 622-653.
- Stark, R.; H. Gruber & H. Mandl (1998): Motivationale und kognitive Passungsprobleme beim komplexen situierten Lernen. In: *Psychologie in Erziehung und Unterricht* 45, S. 202-215.
- Staub, F. & E. Stern (2002): The nature of teachers' pedagogical content beliefs matters for students' achievement gains. Quasi-experimental evidence from elementary mathematics. In: *The Journal of Educational Psychology* 93, pp. 144-155.
- Stern, E. (2002): Wie abstrakt lernt das Grundschulkind? Neuere Ergebnisse der entwicklungspsychologischen Forschung. In: H. Petillon (Hrsg.): *Individuelles und soziales Lernen in der Grundschule – Kindperspektive und pädagogische Konzepte*. Jahrbuch Grundschulforschung 5. Opladen: Leske + Budrich, S. 27-42.
- Tytler, R. W. (1994): *Childrens' explanations in science: A study of conceptual change*. Melbourne. University of Melbourne.
- Wagenschein, M. (1990): *Kinder auf dem Wege zur Physik*. Weinheim: Beltz.
- Weinert, F. E. (1996): Für und Wider die „neuen Lerntheorien“ als Grundlagen pädagogisch-psychologischer Forschung. In: *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* 10, S. 1-12.