

*Kornelia Möller, Ilonca Hardy, Angela Jonen,
Thilo Kleickmann & Eva Blumberg*

Naturwissenschaften in der Primarstufe

Zur Förderung konzeptuellen Verständnisses durch Unterricht und zur Wirksamkeit von Lehrerfortbildungen

1 Einleitung

Seit einiger Zeit, auch als Folge der Ergebnisse der aktuellen Schulleistungsvergleiche und unterstützt durch neuere entwicklungspsychologische Befunde findet die Forderung nach einem frühen Lernen im Bereich der Naturwissenschaften wieder verstärkte Aufmerksamkeit. Dabei stellt sich die Frage, wie Grundschulunterricht gestaltet werden soll, um motivierendes und verstehendes Lernen in naturwissenschaftlichen Themenfeldern zu ermöglichen. Fehlentwicklungen, wie sie im Rahmen des „Booms“ naturwissenschaftlichen Unterrichts in der Grundschule in den 1970er Jahren auftraten, sollten dabei möglichst nicht wiederholt werden – diese Fehlentwicklungen hatten eine nachhaltige Zurückdrängung naturwissenschaftlicher und technischer Inhalte aus der Grundschule zur Folge, die bis zum Ende der 1990er Jahre andauerte. Auch die Probleme, die in der Sekundarstufe speziell in den Unterrichtsfächern Chemie und Physik auftauchen, sollten nicht in die Grundschule vorverlegt werden.

Die angemessene Gestaltung naturwissenschaftlichen Grundschulunterrichts stellt hohe fachliche, allgemein didaktische wie auch fachdidaktische Anforderungen an die Lehrkräfte. Entsprechende Kompetenzen werden aber im Studium wie auch in der zweiten Ausbildungsphase nur unzureichend vermittelt (Möller, 2004).

Um Überforderungen zu vermeiden, Interessen zu fördern und die Entwicklung von Basiskonzepten bereits in der Grundschule anzuregen, ist eine intensive Erforschung der Frage notwendig, wie Grundschul Kinder konzeptuelles Verständnis in naturwissenschaftlichen Themenfeldern aufbauen können. Zu klären ist, wie sich die konzeptuelle Entwicklung durch Unterricht fördern lässt, welche Kompetenzen Lehrkräfte brauchen, um einen entsprechenden Unterricht durchzuführen, und wie diese Kompetenzen wirksam vermittelt werden können.

In unserem Projekt wurden im Förderzeitraum von 2000 bis 2006 zwei zentrale Fragen verfolgt:

- Wie soll Unterricht gestaltet werden, um den Aufbau anspruchsvoller physikalischer Basiskonzepte zu fördern? (Münster/Berlin 2000–2004: Münsteraner Schulstudie und Repräsentationsstudie)
- Lässt sich ein entsprechender Unterricht über Lehrerfortbildungsmaßnahmen implementieren und wie erfolgreich ist der Unterricht der fortgebildeten Lehrkräfte? (Münster 2002–2006: Lehrerfortbildungsstudie)

Am Beispiel des Themas *Schwimmen und Sinken* wurde zunächst in zwei Unterrichtsstudien untersucht, ob sich Strukturierungsmaßnahmen in einem konstruktivistisch orientierten Unterricht förderlich auf den Erwerb physikalischer Basiskonzepte auswirken. Strukturierung wurde dabei als inhaltliche Sequenzierung der Unterrichtsinhalte und als unterstützende Gesprächsführung (Münsteraner Schulstudie) sowie über

Formen der visuellen Darstellung (Repräsentationsstudie) operationalisiert. In einer Fortbildungsstudie, der unterschiedlich gestaltete Langzeit-Lehrerfortbildungsmaßnahmen zugrunde lagen, wurde überprüft, ob Lehrerfortbildungen Veränderungen im Professionswissen von Lehrkräften bewirken können und ob sich diese Wissensveränderungen bei Lehrkräften auch im konzeptuellen Verständnis von unterrichteten Grundschulkindern niederschlagen.

2 Unterrichtsstudien

2.1 Naturwissenschaftliches Lernen als Veränderung von Konzepten

Im Bereich der Naturwissenschaften verfügen Schüler¹ bereits über teilweise tief verankerte Vorstellungen von Phänomenen und Begriffen, mit denen sie in den Unterricht hineinkommen. Häufig stimmen diese vorunterrichtlichen Vorstellungen mit den zu lernenden Konzepten zumindest in zentralen Aspekten nicht überein. Sie sind nur begrenzt belastbar und werden aus diesem Grund häufig als Fehlvorstellungen bezeichnet. Im naturwissenschaftlichen Unterricht sind Lernprozesse daher überwiegend als tiefgreifende Konzeptveränderungen (conceptual change) zu beschreiben. Das heißt, die Lernenden müssen die vorhandene Wissensstruktur grundlegend revidieren und neue Strukturen aufbauen, neue Aspekte integrieren oder Strukturen ausdifferenzieren. Um die notwendigen Konzeptveränderungen herbeizuführen, sind aktive Umstrukturierungsprozesse erforderlich (Vosniadou et al., 2001; Tytler, 1994).

Lerntheoretisch liegen dieser Sichtweise die Annahmen zugrunde, dass Wissen aktiv vom Lernenden konstruiert werden muss und nicht „vermittelt“ werden kann, dass der Lernende im Lernprozess aktiv involviert sein muss, dass Wissensaufbau durch soziale Interaktion gefördert wird und dass Lernsituationen, die das Lösen von Problemen erfordern, die Anwendbarkeit des erworbenen Wissens fördern (Gerstenmaier & Mandl, 1995). Aus den Theorien zum Konzeptwechsel wurden Anregungen für die Gestaltung von Lernumgebungen abgeleitet, die Konzeptveränderungen begünstigen:

- Die Lernenden sind aktiv am Lernprozess beteiligt, z.B. durch motivierende Fragestellungen, sowie durch Möglichkeiten, eigenen Fragen und Denkwegen nachzugehen und zu experimentieren.
- Die Lehrkraft aktiviert vorhandene Vorstellungen, greift diese auf und konfrontiert sie ggf. mit Evidenz.
- Die Lernenden werden ermutigt, eigene Ideen zu formulieren und diese zu überprüfen. Eigenen Lernwegen wird Raum gegeben.
- Im gemeinsamen Gespräch werden Vermutungen und mögliche Erklärungen diskutiert und geprüft.
- Der Unterricht greift anwendungsbezogene, für Kinder interessante Fragestellungen auf.
- Arbeitsweisen und Lernprozesse werden reflektiert.

Lernumgebungen, die auf dieser Basis entwickelt werden, sollen „träges“, nicht anwendbares Wissen vermeiden, Verstehen fördern, das Einbringen von Interessen

1 Aus Einfachheitsgründen werden für Begriffe wie Schüler, Lehrer etc. die üblichen und kürzeren männlichen Formen verwendet. Gleichwohl beziehen sich die Begriffe in gleichem Maße auf beide Geschlechter.

ermöglichen und Möglichkeiten zum Erleben von Kompetenz bieten. In der fachdidaktischen Diskussion wird ein solcher Unterricht – in der Tradition Martin Wagenscheins – als konstruktiv-genetisch bezeichnet (Köhnlein, 1996). Er wird auch unter dem Begriff eines konstruktivistisch orientierten, auf verstehendes, kooperatives und problemorientiertes Lernen ausgerichteten Unterrichts diskutiert (z.B. Duit & Treagust, 1998; Reinmann-Rothmeier & Mandl, 1999; Möller, 2002).

2.2 Die Rolle der Lehrkraft in einem konstruktivistisch orientierten Unterricht

Das hohe Maß an Selbststeuerung und Komplexität, das sich aus einem solchen Unterricht bei anspruchsvollen und anwendungsorientierten Fragestellungen ergibt, birgt insbesondere für jüngere und leistungsschwächere Schüler die Gefahr der Überforderung. Es ist deshalb wichtig, ihnen angemessene Unterstützung zur Verfügung zu stellen.

Theoretisch eignet sich das Ideen von Wygotski (vgl. Vygotsky, 1978) aufgreifende und von Wood, Bruner und Ross (1976) beschriebene Konzept des *scaffolding*, um die schwierige Aufgabe der Lehrkraft in einem auf kognitive Konstruktion ausgerichteten Unterricht zu beschreiben. Es wurde im Zusammenhang mit komplexen, anspruchsvollen Lernumgebungen von verschiedenen angloamerikanischen Autoren wieder aufgenommen (Davis & Miyake, 2004; Hogan & Pressley, 1997; Pea, 2004; Reiser, 2004). Zum *scaffolding* gehören folgende Strukturierungselemente:

- Gliederungsmaßnahmen, welche die Komplexität des Lerngegenstandes reduzieren und den Aufbau adäquater Vorstellungen erleichtern,
- die Auswahl geeigneter Experimente,
- Fokussierungshilfen, welche die Aufmerksamkeit der Schüler auf wichtige Aspekte lenken sollen,
- Impulse, welche Denkanstöße vermitteln,
- Problematisierungshilfen, welche auf ungelöste Fragen oder Widersprüche aufmerksam machen,
- Aufforderungen zum Mitteilen und Überprüfen von Vermutungen,
- Aufforderungen zum Begründen von Aussagen und zum Reflektieren von Lernwegen,
- Zusammenfassungen und Hervorhebungen wichtiger Schüleräußerungen und
- die Nutzung von *advance organizern*, um die Einordnung neuen Wissens in vorhandenes Wissen zu erleichtern.

Reiser (2004) beschreibt die Rolle der Lehrkraft als delikat, da die Lehrkraft versuchen muss, ein *optimales* Level an Unterstützung bereitzustellen. Die Aufgabe der Lehrkraft lässt sich dabei so beschreiben: Die Lehrkraft sollte soviel Hilfe wie notwendig und so wenig Hilfe wie möglich anbieten, um forschende Lernprozesse zu ermöglichen und die kognitive Aktivität der Lernenden zu fördern.

Ein auf kognitive Konstruktion ausgerichteter Unterricht, der ein kognitives und motivationales Engagement der Lernenden anstrebt und eigenes Forschen und Entdecken ermöglichen möchte, scheint also nur erfolgreich, wenn eine entsprechende Unterstützung durch Strukturierungselemente erfolgt. Von der Lehrkraft erfordert ein solcher Unterricht eine Reihe anspruchsvoller Kompetenzen – sowohl im fachlichen wie auch im didaktisch-methodischen Bereich.

2.3 Lässt sich die konzeptuelle Entwicklung durch Strukturierungselemente in einem konstruktivistisch orientierten Unterricht fördern? – Die Münsteraner Schulstudie

In einer Unterrichtsstudie mit insgesamt sechs unterrichteten dritten Klassen und zwei Klassen ohne Unterricht stellten wir uns die Frage, welchen Einfluss strukturierende Merkmale in einer konstruktivistisch orientierten Lernsituation haben, die nach den oben genannten Merkmalen gestaltet ist. Drei der unterrichteten Klassen erhielten dazu einen konstruktivistisch orientierten Unterricht mit stärkerer und drei Klassen einen entsprechenden Unterricht mit geringerer Strukturierung. Wir überprüften die Lernfortschritte der Schüler, insbesondere auch die der leistungsschwachen Schüler, mit Multiple-Choice- und offenen Aufgaben in einem Fragebogen vor und nach dem Unterricht sowie in einem nach dem Unterricht eingesetzten Transferfragebogen (s. u.). Nach einem Jahr wiederholten wir den Test, um die Nachhaltigkeit des Verständnisses zu prüfen. Wir interessierten uns dabei insbesondere für die Fragen, ob sich die Wirkungen in den beiden Unterrichtsformen und im Vergleich zu einer nicht unterrichteten Basisgruppe unterscheiden, ob das erworbene Verständnis nachhaltig ist und ob auch leistungsschwache Kinder von dem Unterricht profitieren. Zudem erfragten wir mit einem weiteren Fragebogen, wie interessant die Kinder den Unterricht empfanden, wie motiviert sie waren, inwieweit sie sich als engagiert und kompetent empfanden, wie erfolgsoversichtlich sie den Aufgaben im Unterricht und ähnlichen Anforderungen gegenüber waren, wie konstruktivistisch sie den Unterricht einschätzten und wie zufrieden sie mit dem Unterricht waren.

2.3.1 Das Unterrichtsthema *Schwimmen und Sinken*

Forschungsergebnisse aus Interviews haben gezeigt, dass viele Kinder bei ihren Erklärungen zum *Schwimmen und Sinken* von Gegenständen auf nur eine Dimension zentrieren (z.B. Möller, 1999; Smith, Carey & Wiser, 1985). Diese nicht belastbaren Erklärungen beziehen sich bspw. ausschließlich auf den Aspekt der Masse („alles, was leicht ist, schwimmt“), des Volumens („große Gegenstände gehen unter“) oder der Form („alles mit Löchern sinkt“). Auf einem fortgeschrittenen Niveau von Erklärungen zum *Schwimmen und Sinken* muss jedoch die Beziehung zwischen Objekt und der Flüssigkeit, in die es eingetaucht ist, beachtet werden. Bei sogenannten Alltagserklärungen wird bspw. die Rolle des Wassers berücksichtigt („das Wasser trägt“) oder aber die Materialdimension zugrunde gelegt („alles aus Holz schwimmt“). Hier können in qualitativen Vergleichen bereits die beiden Größen von Masse und Volumen berücksichtigt werden, wie bspw. bei Beschreibungen von Gegenständen, die „schwer für ihre Größe“ sind. Auf einem physikalisch angemessenen Niveau schließlich wird die Dichte des Gegenstandes explizit mit dem von ihm verdrängten Wasser verglichen bzw. die Auftriebskraft mit der Gewichtskraft in Beziehung gesetzt.

2.3.2 Beschreibung der Unterrichtsvariation

Es wurden zwei Unterrichtsreihen mit je acht Doppelstunden zum Thema *Wie kommt es, dass ein großes Schiff aus Stahl nicht untergeht?* für dritte Klassen entwickelt. In der vierten bzw. fünften Doppelstunde besuchten die Klassen in beiden Unterrichts-

reihen das Schwimmbad, um die Wirkung der Auftriebskraft des Wassers beim Untertauchen von Gegenständen und am eigenen Körper erfahren zu können. In beiden Unterrichtsreihen wurden dieselben Materialien bereitgestellt sowie die gleichen Arbeitsblätter und Arbeitsaufträge eingesetzt.

Die Unterrichtsreihen unterschieden sich allerdings im Grad der Strukturierung. Die Gruppe, die einen *strukturierten Unterricht* (MIT-Unterricht) erhielt, erarbeitete die Ausgangsfrage sequenziert in Teilfragen, die zwar nicht kleinschrittig und losgelöst von dem komplexen Problem erarbeitet werden, aber zu einem schrittweisen Aufbau adäquater Vorstellungen führen sollten. 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* (OHNE-Unterricht) erhielten, standen die gleichen Materialien und Versuche zu allen Teilaspekten wie der Gruppe im MIT-Unterricht zur Verfügung, allerdings konnten sie diese während der gesamten Zeit nutzen. 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 des forschenden Lernens waren vorgegeben; das offene Materialangebot sowie die Stationen und Gruppenarbeitsaufträge des OHNE-Unterrichts konnten allerdings in beliebiger Reihenfolge genutzt werden. Auf Anforderung gab die Lehrkraft allerdings auch hier strukturierende Hilfen.

Neben der Sequenzierung wurde auch die Gesprächsführung in den Klassengesprächen variiert. Die Lehrerin achtete in der Gruppe mit stärkerer Strukturierung darauf, dass das Gespräch nicht zwischen unterschiedlichen Aspekten hin und her sprang, um die Sequenzierung auch hier einzuhalten. Sie gab häufiger Rückmeldungen an die gesamte Klasse, stellte häufiger Widersprüche heraus, forderte immer wieder Begründungen und Zusammenfassungen ein und half bei der Fokussierung der Aufmerksamkeit durch Präsentationen, Tafelskizzen und Verschriftlichungen.

Im Unterricht mit geringerer Strukturierung bestimmten die Kinder weitgehend die Reihenfolge der zu besprechenden Aspekte im Klassengespräch. Die Lehrperson half hier bei der Organisation und der Einhaltung der Gesprächsregeln, beschränkte sich ansonsten auf Tipps für die Strukturierung, forderte seltener Vergleiche, Begründungen, Präsentationen und das Hinterfragen heraus und fasste seltener den Stand der Schülererkenntnisse zusammen. Die Kinder erhielten allerdings individuelle Rückmeldungen von der Lehrperson in ihren Forschermappen. Insgesamt entsprach der Unterricht in der Gruppe mit geringerer Strukturierung in etwa einem sogenannten offenen Werkstattunterricht, wie er in vielen Grundschulklassen verbreitet ist, während der Unterricht in der Gruppe mit stärkerer Strukturierung eher an einem genetisch orientierten Unterricht mit einer sokratischen, das Denken der Lernenden unterstützenden Gesprächsführung orientiert war. Mit Hilfe einer Videoaufzeichnung und einer anschließenden Videoauswertung konnte nachgewiesen werden, dass der Unterricht in den beiden Versuchsgruppen den genannten Unterscheidungsmerkmalen folgte (vgl. Tabelle 1).

Tab. 1: Art der Schüler- und Lehreräußerungen in Prozent im OHNE- bzw. MIT-Unterricht

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%
Gesamt (nicht exakt 100%, weil die Werte gerundet sind)	101%	99%

Beide Gruppen wurden von derselben Lehrperson unterrichtet, um lehrkraftbedingte Effekte auszuschließen. Die sozioökonomischen Bedingungen und die Vorerfahrungen der Klassen waren in beiden Gruppen vergleichbar.

Das genaue Design der experimentellen Studie und das Ergebnis des Video-Screenings im Hinblick auf die Frage, ob die beschriebene Variation auch tatsächlich realisiert wurde, sind bereits an anderer Stelle veröffentlicht worden (Möller et al., 2002; Hardy et al., 2006).

Sechs dritte Klassen aus drei vergleichbaren Schulen mit insgesamt 149 Kindern (65 Mädchen, 84 Jungen) dienten als Experimentalgruppen. Zwei dritte Klassen aus zwei weiteren Schulen mit 41 Kindern (27 Mädchen, 14 Jungen) dienten als Vergleichsgruppe; sie erhielten keinen Unterricht zum Thema *Schwimmen und Sinken* (Basisgruppe). Die Durchführung des Unterrichts erfolgte in drei Wellen von je vier Wochen. Pro Welle wurde in je einer Schule Unterricht mit stärkerer und geringerer Strukturierung in zwei Parallelklassen je zwei Wochen nacheinander durchgeführt. Die Zuordnung zu den beiden Versuchsgruppen erfolgte zufällig. In den Basisklassen wurde ausschließlich die Testbatterie durchgeführt.

2.3.3 Der Ablauf des Unterrichts

Der Unterricht enthielt die folgenden Teilaspekte, die hier in der Reihenfolge beschrieben werden, wie sie im Unterricht mit stärkerer Strukturierung erarbeitet wurden.

Zunächst wurde die Frage gestellt, wie es kommt, dass ein großes schweres Schiff aus Metall nicht untergeht, obwohl eine kleine Stecknadel aus Metall sinkt. Einige der häufigeren Antworten sind der Tabelle 2 zu entnehmen. Auffällig ist die Angabe mehrerer Gründe, die additive Aneinanderreihung von Gedanken, das häufige Nennen der Form des Schiffes und die besondere Rolle, die der Luft zugesprochen wird. Fast allen Antworten ist zudem gemeinsam, dass die Kinder nicht die Rolle des Wassers erwähnen, sondern glauben, dass der Motor, die Luft im Schiff oder der Kapitän dafür sorgen, dass das Schiff nicht untergeht. Dass es das Wasser ist, das für das Nicht-Sinken des Schiffes verantwortlich ist, wird im Mittelpunkt des folgenden Unterrichts stehen.

Nach ersten Diskussionen über mögliche Gründe fährt der Unterricht fort mit der Frage, welche Vollkörper im Wasser nach dem Eintauchen nach oben steigen und

welche sinken. Die Kinder stellen zunächst Vermutungen zu verschiedenen Gegenständen an, überprüfen diese anschließend im Versuch und markieren dann überraschende Ergebnisse. Dass Wachs schwimmt, überrascht Kinder (vor allem, wenn es sich um einen großen und schweren Wachsklotz handelt), weil der Wachsklotz keine Luft enthält und sie glauben, dass die Luft das Nicht-Sinken bewirkt. Haben Gegenstände Löcher, so glauben Kinder, dass das Wasser diesen Gegenstand herunterdrückt, auch wenn die Platte mit Löchern aus Styropor oder Holz besteht. Dass eine kleine Nadel sinkt, aber ein schwerer Holzklötz nach oben steigt, wird ebenfalls häufig nicht vorhergesehen. Die Kinder vermuten auch, dass eine dünne Eisenplatte nach oben steigt, weil das Wasser sie wegen der breiten Fläche tragen kann, und dass ein Schwamm untergeht, weil er sich mit Wasser voll saugt. Sie beobachten, dass gleiche Gegenstände aus verschiedenen Materialien (z.B. Messer aus Holz, Messer aus Plastik) sich unterschiedlich verhalten.

In der Reflexion der überraschenden Ergebnisse entsteht die Vermutung, dass das Untergehen oder „Nach-Oben-Steigen“ nicht von der Größe, dem Gewicht, einer speziellen Form oder einem speziellen Gegenstand abhängt, sondern dass es auf das ankommt, woraus der Gegenstand gemacht ist. Damit sind die Kinder ein Stück weiter gekommen im Aufbau angemessener Konzepte: Sie vermuten nun, dass es am Material liegt, ob ein Gegenstand untergeht oder nach oben steigt. Der Unterricht geht dieser Vermutung in der zweiten Doppelstunde nach, indem unterschiedlichste Vollkörper aus Holz, Stein, Styropor, Metall, Wachs und Kork getestet werden. Die Kinder fassen als Ergebnis zusammen: Vollkörper aus Holz, Styropor, Wachs und Kork steigen immer auf, solche aus Stein und Metall gehen immer unter. Damit haben die Kinder das so genannte „Materialkonzept“, also die Vorstellung, dass es vom Material abhängt, wie sich ein Vollkörper im Wasser verhält, aufgebaut. Mit diesem neuen Wissen können die Kinder nun das Verhalten weiterer Vollkörper im Wasser vorhersagen, vorausgesetzt das Material ist erkennbar. Dass auch diese Vorstellung noch weiter gesichert werden muss, zeigt die Antwort auf die Frage, was mit einem großen Baumstamm im Wasser passiert. Die Hälfte unserer Kinder sagte vor dem Ausprobieren im Schwimmbad, dass dieser untergehe, weil er so schwer sei. Dieses Beispiel zeigt, dass der Aufbau neuer, adäquaterer Konzepte häufig noch labil ist und in weiteren Situationen erneut gefestigt werden muss.

In der nächsten Doppelstunde zeigt die Lehrkraft ein Stück Holz, das sich schon im Erscheinungsbild von heimischen Hölzern unterscheidet. Es handelt sich um ein Stück Tropenholz (z.B. Eisenholz, Palisander, Ebenholz). Obwohl es sich eindeutig um das Material Holz handelt, beobachten die Kinder erstaunt, dass dieses Holzstück nach unten sinkt. Die Erkenntnis, „alles aus Holz schwimmt“, muss also noch einmal differenziert werden. Diese Aussage gilt nicht für einige besondere ausländische Hölzer, diese gehen im Wasser unter.

Die Frage, wie es kommt, dass manche Materialien untergehen, andere aber nicht, führt zur nächsten Unterrichtssequenz. Als Vermutung äußern die Kinder, dass es daran liege, wie schwer das jeweilige Material sei. Mit den Kindern wird nun erarbeitet, dass man gleich viel von jedem Material nehmen muss, um zu überprüfen, wie sich die Materialien in ihrer Schwere unterscheiden. Die Kinder erhalten so genannte Einheitswürfel aus verschiedenen Materialien mit der Aufgabe, diese zunächst zu wiegen und dann Vermutungen darüber anzustellen, wie sich die Würfel im Wasser verhalten werden (Abbildung 1). Das Gewicht der verschiedenen Würfel wird auf einem Arbeitsblatt notiert.

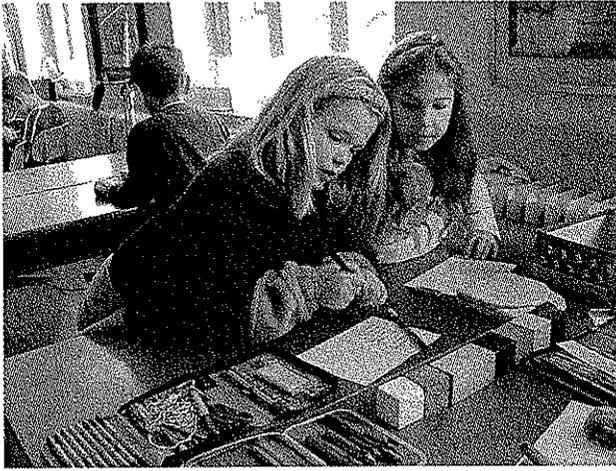


Abb. 1: Die Kinder wiegen verschiedene Würfel gleichen Volumens aus verschiedenen Materialien und vergleichen sie mit der Masse einer gleichen Menge an Wasser

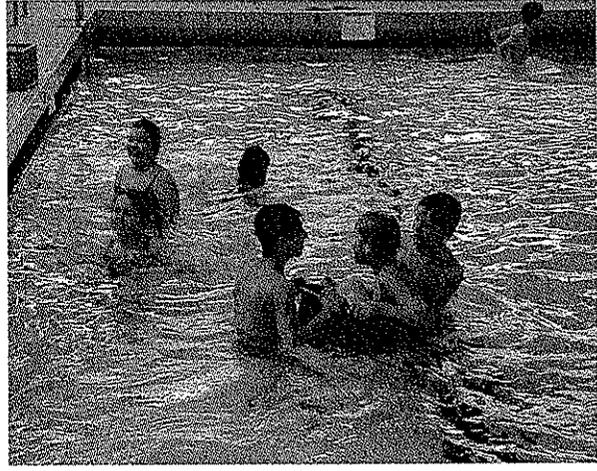


Abb. 2: Die Kinder erfahren im Schwimmbad: Das Wasser drückt so stark, dass der Bottich mit Kind nicht untergeht

Nun regt die Lehrkraft einen Vergleich mit dem Gewicht von Wasser an. Dazu muss die gleiche Menge Wasser gewogen werden. Ein vorbereiteter Hohlwürfel aus durchsichtigem Kunststoff, der das gleiche Volumen hat wie die übrigen Würfel, hilft hierbei: Der Würfel wird erst ohne Wasser, dann mit Wasser gewogen. Danach wird das Gewicht des Wassers berechnet und ebenfalls notiert. Nun vergleichen die Kinder das Gewicht der verschiedenen Einheitswürfel mit dem Gewicht der gleichen Menge an Wasser und stellen fest: Alle Würfel, die mehr wiegen als gleich viel Wasser, gehen im Wasser unter, alle Würfel, die weniger wiegen als gleich viel Wasser, steigen nach oben. Für seine „Größe“, so formulieren die Kinder, ist Eisen schwerer als gleich viel Wasser, deshalb geht es unter. Anhand einiger Knobelaufgaben wird das neu erworbene Wissen gefestigt: So sagen die Kinder z.B. anhand des Gewichtes eines doppelten Einheitswürfels, dessen Material nicht bekannt ist, voraus, ob er sinken wird oder nicht. Mit der Erkenntnis, dass die „Schwere“ von Materialien unterschiedlich ist, sind die Kinder dem Konzept der Dichte sehr nahe gekommen, auch wenn dieses noch nicht mathematisch definiert werden kann (als Masse pro Volumen). Mit dieser Erkenntnis kann nun auch erklärt werden, warum z.B. Öl auf Wasser schwimmt.

Welche Rolle aber spielt das Wasser beim Untergehen bzw. Nicht-Untergehen von Gegenständen? Die nächsten Doppelstunden beschäftigen sich mit der Frage, was mit dem Wasser passiert, wenn Gegenstände in das Wasser getaucht werden und was das Wasser mit eingetauchten Gegenständen macht. Häufig denken Kinder, dass Gegenstände, die schwerer sind als andere, mehr Wasser verdrängen. Steigt der Vater in eine gut gefüllte Badewanne, so läuft das Wasser über, beim (leichteren) Kind passiert das nicht. Viele Kinder wissen nicht, dass die Größe, und nicht das Gewicht des Gegenstandes, die Verdrängung beeinflusst. Auch hier ist also eine Konzeptveränderung erforderlich. Versuche, in denen die Kinder das Ausmaß der Verdrängung des Wassers bei gleich großen, aber unterschiedlich schweren Gegenständen und bei gleich schweren, aber unterschiedlich großen Gegenständen beobachten, indem sie den Wasserstand vor und nach der Verdrängung markieren, unterstützen diese Veränderung im konzeptuellen Verständnis. Beim Vergleich eines Metallklotzes mit einem gleich schweren Metallschiff beobachten die Kinder, dass das Schiff wesentlich mehr Wasser verdrängt als der Klotz, weil es im Wasser mehr Platz braucht. Zusätzlich

beobachten sie in einem Überlaufversuch, dass genauso viel Wasser verdrängt wird, wie der Gegenstand an Platz im Wasser einnimmt.

In einem nächsten Schritt erfahren sie anhand verschiedener Versuche im Schwimmbad, was das Wasser mit Gegenständen macht, wenn diese in das Wasser eingetaucht werden. Viele Kinder denken, dass das Wasser Gegenstände und auch Menschen nach unten zieht. Dabei verwechseln sie zwei unterschiedlich wirkende Kräfte: Die Gewichtskraft und die im Wasser wirkende Auftriebskraft, die alles im Wasser eingetauchte nach oben drückt. Ob im Wasser eingetauchte Gegenstände sinken oder nicht, hängt von der Größe dieser beiden entgegen gerichteten Kräfte ab: Ist die Auftriebskraft größer, so wird der in das Wasser eingetauchte Gegenstand nach oben gedrückt und schwimmt (dann sind beide Kräfte im Gleichgewicht), ist die Gewichtskraft größer als die Auftriebskraft, so sinkt der Gegenstand. Im Schwimmbad sollen die Kinder nun zunächst die nach oben drückende Kraft des Wassers erfahren, indem Bälle und Töpfe wie auch Bottiche in das Wasser eingetaucht werden. Sie spüren dabei, wie das Wasser beim Eintauchen gegen den Gegenstand drückt. Beim großen Bottich ist das Drücken so stark, dass sogar ein Kind vom Wasser getragen wird (Abbildung 2).

Beim Hochheben schwerer Gegenstände spüren die Kinder, dass man im Wasser weniger Kraft aufbringen muss als außerhalb des Wassers. Sind die Gegenstände oder wir selbst im Wasser eingetaucht, so werden Gegenstände scheinbar leichter – das Wasser trägt also mit.

Zurück im Klassenraum werden die Experimente noch einmal „im Kleinen“, im Wasserbecken, wiederholt. Genau wird nun beobachtet, was mit einem Gegenstand passiert, der langsam in das Wasser eingetaucht und dann wieder langsam herausgezogen wird. Bei der Knetkugel an der Angel spüren die Kinder, dass diese allmählich schwerer wird beim Herausziehen; bei der Knetkugel am Gummiband beobachten sie, wie sich das Gummiband beim Herausziehen verlängert. Beim Eintauchen des Metallschiffes spüren sie, wie das Wasser einen Widerstand ausübt, während der gleich schwere Metallklotz nach unten sinkt. Beim Vergleich unterschiedlich großer, aber annähernd gleich schwerer Becher spüren sie die Abhängigkeit der Stärke des Nach-Oben-Gedrückt-Werdens von der Menge des verdrängten Wassers. Diese Erkenntnis wird nun angewendet: Die Kinder erhalten die Aufgabe, eine Knetkugel, die im Wasser untergeht, so zu formen, dass sie möglichst viele Murmeln tragen kann. Sie erfahren: Je mehr Wasser verdrängt wird, desto mehr kann das Knetschiff laden. Ein Vergleich mit unterschiedlich großen Metalltöpfen zeigt: Je größer der Topf ist, desto höher steigt das Wasser, desto mehr Wasser wird verdrängt, desto mehr Wasser drängt zurück an seinen Platz und desto stärker drückt das Wasser den Gegenstand nach oben.

In einem letzten Schritt wird nun das „Nach-Oben-Steigen“ oder Sinken von Gegenständen nach dem Eintauchen in das Wasser mit Hilfe eines Kräftespiels zwischen zwei wirkenden Faktoren erarbeitet: Das Wasser drückt alles nach oben, die Erdanziehungskraft „zieht“ alles nach unten. Beim Topf drückt die Auftriebskraft stärker nach oben als die Erdanziehungskraft den Topf nach unten „zieht“. Der in das Wasser eingetauchte Topf wird deshalb vom Wasser nach oben gedrückt. Nach dem Auspendeln befindet sich der Topf in der Gleichgewichtslage: Die Kraft des nach oben drückenden Wassers und das Gewicht des Topfes sind nun gleich groß.

In einer letzten Einheit wird die Ausgangsfrage beantwortet: Das (in Gedanken) eingetauchte Schiff wird vom Wasser nach oben gedrückt, weil es leichter ist als gleich viel Wasser. Je mehr Wasser das Schiff verdrängt, desto stärker drückt das Wasser das (eingetauchte) Schiff nach oben. Ist das Drücken des Wassers stärker als das nach

unten gerichtete Gewicht des Schiffes, wird das Schiff vom Wasser nach oben gedrückt, bis es eine Gleichgewichtslage erreicht.

Mit diesem Ergebnis haben die Kinder ein Verständnis erreicht, das dem mancher Erwachsener vermutlich überlegen ist. Dass es sich hierbei nicht um auswendig gelernte Sätze handelt, beweist die Verschiedenartigkeit der Erklärungen, die nach dem Unterricht abgegeben werden (Tabelle 2).

Tab. 2: Offene Antworten von Kindern vor und nach dem Unterricht

Vär leich wegen den Luft	Das ligt Nicht an der luft das ligt auch Nicht an das glachgewicht es ligt an den Wasser
Wegen der vorm (Form)	So ein grozes Schiff Schwimmt weil es leichter als das verdrenkte Wasser ist. Dann kann das Wasser das Schiff noch tragen
Weil das Flach ist und aus Eisen gemacht ist!	Weil es so groß ist, wegen dem Wasser, weil das Wasser schwerer ist als das Schiff.
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.
Weil Störopor in das Schiff gelegt wirt und viel Luft ist.	Weil das Schiff leichter ist wie das Weckedengte (weggedrängte) Wasser ist
So ein Schiff hat einen Motor und der Motor treibt das Schiff.	Das Wasser drückt das Schiff hoch, weil das Schiff leichter als das weggedrängte Wasser ist.
Weil in dem Schiff ganz viel Luft ist, und Luft schwimmt.	Weil das Schiff leichter ist, als genauso viel Wasser. Der Wasserdruck ist wichtig. In dem Schiff ist viel Luft. Weil das Schiff viel Wasser wegdrängt, und das Wasser möchte seinen Platz wiederhaben, und drückt das Schiff nach oben
Weil vielleicht im Schiff Luft drin ist oder weil es bestimmte Motoren hat.	Das Schiff drängt ja Wasser weg und dieses Wasser trägt das Schiff, ... weil das Wasser schwerer und stärker ist hat es mehr Kraft das Schiff zu tragen. Wenn das Wasser weniger wiegt als das Schiff dann würde das Schiff untergehen.

2.3.4 Die Erfassung von konzeptuellem Verständnis mit einem Fragebogen

Prä-Posttest zum *Schwimmen und Sinken*

Der im Prätest, Posttest und zur Nacherhebung eingesetzte Test umfasst insgesamt 36 Aufgaben mit 33 Multiple-Choice-Aufgaben (17 True-False-Items und 16 Multiple-Choice-Items) und drei Items mit offenem Antwortformat. Die Fragen und Antwortalternativen beziehen sich auf typische Vorstellungen von Drittklässlern (Fehlvorstellungen wie die Rolle von Gewicht, Größe, Form oder Luft) sowie auf Alltags-erklärungen, wie das Materialkonzept und auf physikalische Erklärungen (Verdrängung, Dichtevergleich, Auftrieb). Signalwörter wie „leichter/schwerer als“ und „drücken“, die häufig im Unterricht verwendet werden, wurden jeweils innerhalb eines Items in einer richtigen und in einer falschen Wendung angeboten. Eine ausführliche Beschreibung des Tests und der Auswertungen findet sich bei Hardy et al. (2006). Die Abbildungen 3 und 4 zeigen exemplarisch, wie der Test konstruiert wurde.

Die folgenden Gegenstände werden ins Wasser getaucht.
Was passiert?

1. Kreuze an, was stimmt.
2. Kreuze dann alle richtigen Erklärungen an.

Der Holzknopf

geht unter

steigt nach oben

- weil er vom Wasser stark genug nach oben gedrückt wird.
- weil er so leicht ist.
- weil er Löcher hat.
- weil er vom Wasser nach unten gedrückt wird.
- weil er aus Holz ist.
- weil das weggedrängte Wasser mehr wiegt als der Holzknopf.

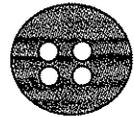


Abb. 3: Beispielitem aus dem Test zum *Schwimmen und Sinken*

Hier sind vier gleich große Kugeln.
Sie sind unterschiedlich schwer.

Wie hoch steigt das Wasser im Glas bei jeder Kugel?

Zeichne jeweils den Wasserstand ein.

So hoch steigt das
Wasser, wenn man
die rote Kugel in das
Glas legt.

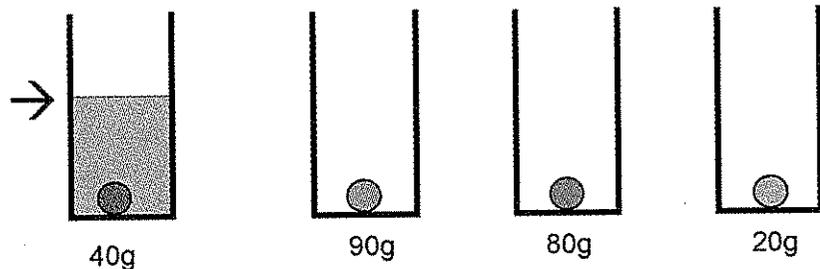


Abb. 4: Beispielitem zur Verdrängung aus dem Test zum *Schwimmen und Sinken*

Beim Item in Abbildung 3 beziehen sich die Antworten 2 und 3 auf gängige Fehlvorstellungen von Kindern bezüglich der Masse und der Form von Objekten, eine Antwort bezieht sich auf eine Alltagserklärung (Antwort 5), während sich die physikalisch korrekten Antworten auf die Konzepte der Dichte und Auftriebskraft beziehen (Antworten 1 und 6). Schließlich bieten wir eine Erklärung an, die ein physikalisches Konzept in verkehrter Beziehung beinhaltet (Antwort 4). Die Schüler sollen zur Beantwortung des Items zunächst entscheiden, ob der genannte Gegenstand schwimmt oder sinkt, und dann alle Erklärungen ankreuzen, die sie für plausibel halten. Abbildung 4 zeigt eine Aufgabe zum Konzept der Verdrängung, bei der der korrekte Wasserstand (in diesem Falle also jeweils die gleiche Höhe) für drei Kugeln unterschiedlichen Gewichts eingezeichnet werden soll.

Die Auswertung des Tests erfolgte sowohl durch die Berechnung eines Summenwerts, der die korrekte Ablehnung von Fehlvorstellungen und die korrekte Annahme von physikalischen Erklärungen bepunktete (Cronbachs α [Prätest, Posttest, Nacherhebung] = .48, .82, .81) als auch durch die Berechnung von Einzelwerten für unterschiedliche konzeptuelle Vorstellungen. Hierbei wurden über alle Aufgaben die Fehlvorstellungen, Alltagsvorstellungen und physikalischen Erklärungen getrennt summiert (außerdem getrennt für Multiple-Choice- und offene Aufgaben), mit zufriedenstellenden internen Konsistenzen (Fehlvorstellungen: .59, .62, .75; Alltagserklärungen: .57, .62, .63; physikalische Erklärungen: .70, .78, .81; Interrater-Reliabilitäten für offene Fragen > .95).

Transfertest zum *Schwimmen und Sinken*

Die Fragen dieses Tests beziehen sich auf die Anwendung des Dichtekonzepts und des Auftriebskonzepts in neuen, nicht im Unterricht behandelten Kontexten anhand von acht Multiple-Choice-Items. Beispielsweise sollte in einem Item bestimmt werden, wie viel ein Würfel aus einem bestimmten Material wiegen muss, damit er in Öl sinkt, aber in Wasser schwimmt (bei gegebener Masse des Wasserwürfels und des Ölwürfels der gleichen Größe). Ein anderes Item fragte nach Erklärungen, warum Fische im Wasser zur Oberfläche steigen, wenn sie ihre Gasblase vergrößern. Zur Auswertung des Transfertests wurden Summenwerte für physikalische Erklärungen (Cronbachs α = .53) und Fehlvorstellungen (Cronbachs α = .54) berechnet.

2.3.5 Effekte des Unterrichts zum *Schwimmen und Sinken*

Die Ergebnisse dieser Unterrichtsstudie finden sich bereits mit jeweils unterschiedlichem Analysefokus in verschiedenen Veröffentlichungen (Blumberg, Möller & Hardy, 2004; Hardy et al., 2006; Jonen, Hardy & Möller, 2003; Jonen, Möller & Hardy, 2003; Möller et al., 2002).

Lernzuwächse beim konzeptuellen Verständnis

Für das erworbene integrierte Verständnis, das durch den gleichzeitigen Abbau von Fehlvorstellungen und den Aufbau adäquater Vorstellungen gekennzeichnet ist, zeigte sich folgende Wirkung der beiden Unterrichtsformen: Während sich das erworbene integrierte Verständnis direkt nach dem Unterricht zwar von der Basisgruppe, nicht aber zwischen den beiden unterrichteten Gruppen unterschied, zeigte sich nach einem Jahr neben einer signifikanten Überlegenheit beider Unterrichtsgruppen gegenüber der nicht unterrichteten Basisgruppe auch eine signifikante Überlegenheit des stärker strukturierten Unterrichts im Vergleich zu dem geringer strukturierten Unterricht. Während die Gruppe mit dem stärker strukturierten Unterricht vom Posttest zum Nachtest keine Veränderung in den Mittelwerten zeigte, wies die Gruppe mit geringerer Strukturierung einen signifikanten Abfall auf (Abbildung 5, Hardy et al., 2006).

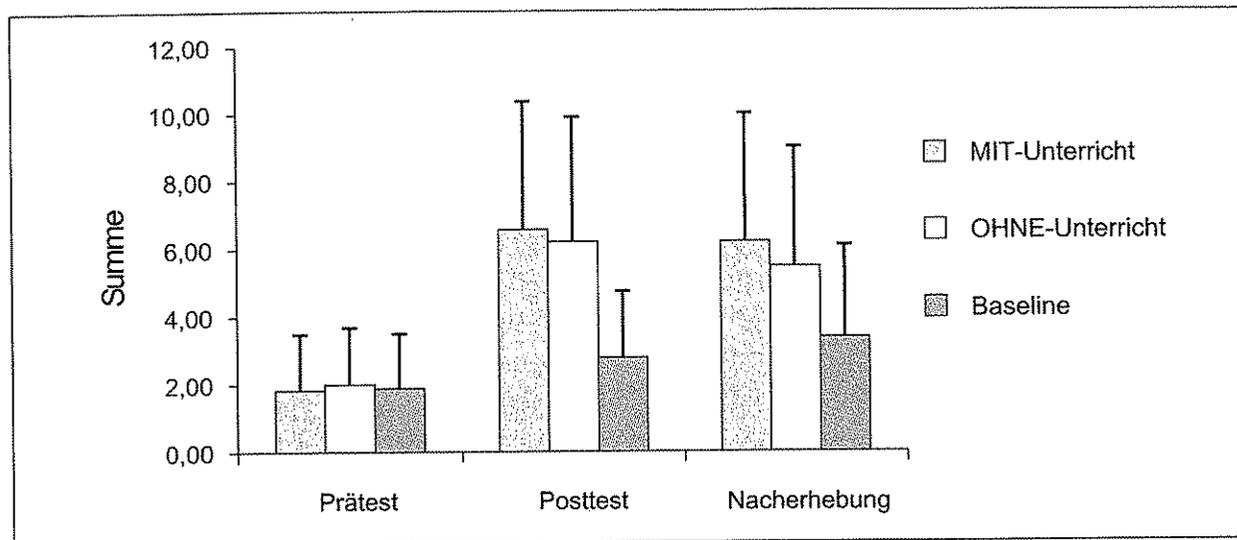


Abb. 5: Mittelwerte des Summenwertes zum Integrierten Konzeptuellen Verständnis

Analysen hinsichtlich der Eingangsvoraussetzungen der Kinder zeigten, dass insbesondere leistungsschwächere Kinder von dem Unterricht mit stärkerer Strukturierung profitierten (Möller et al., 2002). Hierzu wurde ein allgemeiner Summenwert berechnet, bei dem die Anzahl an abgelehnten Fehlkonzepten, die Anzahl an wissenschaftlichen Erklärungen und die Anzahl an Alltagsvorstellungen bepunktet wurden. Obwohl der Lerngewinn der leistungsschwächeren Kinder deutlich unter dem Lerngewinn der leistungsstärkeren Kinder blieb, konnten auch diese im Unterricht mit stärkerer Strukturierung ihr konzeptuelles Verständnis von *Schwimmen und Sinken* signifikant steigern, während die Kinder im Unterricht mit schwächerer Strukturierung keinen eindeutigen Lernerfolg zeigten. Die leistungsstärkeren Schüler unterschieden sich dagegen nicht in beiden Unterrichtsformen (Abbildung 6, Möller et al., 2002).

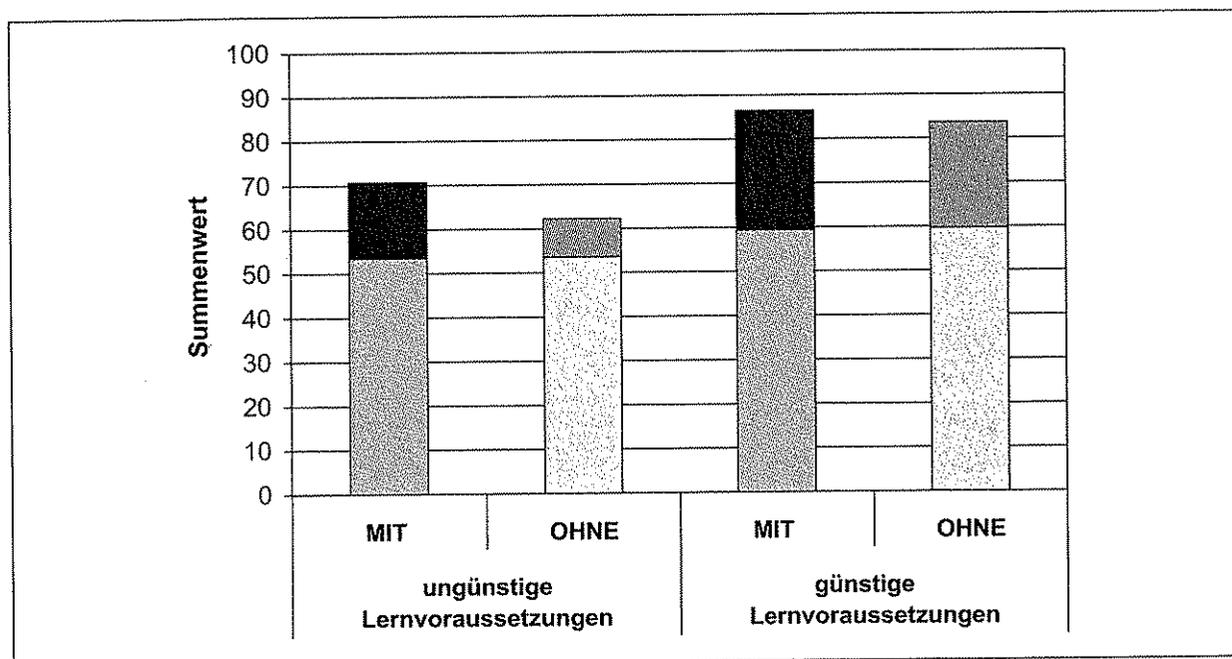


Abb. 6: Prätestwerte (helle Farben) und Posttestwerte (dunkle Farben) im allgemeinen Summenwert des Tests zum *Schwimmen und Sinken* für Kinder mit günstigen und ungünstigen Lernvoraussetzungen im Unterricht MIT und OHNE

Bei den offenen Antworten zeigte sich, dass Fehlkonzepte von den Kindern im Posttest signifikant seltener, physikalisch angemessene Konzepte signifikant häufiger genannt wurden. Die Gruppe mit stärkerer Strukturierung war zudem der Gruppe mit geringerer Strukturierung im Hinblick auf die Nutzung physikalischer Konzepte signifikant überlegen und zeigte eine tendenziell geringere Nennung von Fehlkonzepten (Hardy et al., 2006; Jonen, Hardy & Möller, 2003). In Bezug auf die Langzeitwirkung zeigt sich, dass die Gruppe mit stärkerer Strukturierung signifikant weniger Fehlkonzepte und signifikant mehr anspruchsvolle physikalische Konzepte produzierte als die Gruppe mit geringerer Strukturierung im Unterricht. Mit anderen Worten: Durch den Unterricht abgebaute Fehlkonzepte tauchten in der Gruppe mit geringerer Strukturierung nach einem Jahr wieder auf, während die Gruppe mit stärkerer Strukturierung nachhaltig Fehlkonzepte abbauen konnte (Hardy et al., 2006). Durch diesen Anstieg an Fehlkonzepten in der Gruppe mit geringerer Strukturierung unterschied sich diese ein Jahr nach dem Unterricht nicht mehr von der Basisgruppe.

Insgesamt zeigt die Verschiedenartigkeit der Antworten zu den offenen Testfragen, dass es sich bei dem zum Ausdruck gebrachten Verständnis von *Schwimmen und Sinken* nicht um auswendig gelernte Sätze handelt. Die Kinder haben individuell unterschiedliche Konzeptveränderungen vollzogen; einige Kinder bevorzugten eher eine Erklärung über die Dichte, andere Kinder argumentieren lieber mit den Kräften. Die Antworten zeigen aber auch, dass die Kinder in der Umstrukturierung ihrer Konzepte unterschiedlich weit gekommen sind. Bei manchen Kindern finden wir, wie in der Literatur häufig beschrieben, auch nach dem Unterricht eine Parallelität von richtigen und inadäquaten Erklärungen. Manche Kinder haben ihre Energie darauf verwendet, falsche Konzepte abzubauen – z.B. betonen sie nach dem Unterricht, dass es nicht die Luft ist, die das Schwimmen bewirkt, sondern das Wasser. Mit dieser Erkenntnis haben sie aber einen entscheidenden Schritt zum Verständnis des Auftriebs vollzogen. Einige Kinder kommen bereits so weit, dass sie kausale Verknüpfungen zwischen Argumenten herstellen.

Dass die Kinder das Erlernte auch anwenden können, bewiesen sie beim Lösen von Knobelaufgaben im Transfertest. Der Unterricht mit stärkerer Strukturierung war erwartungsgemäß dem Unterricht mit geringerer Strukturierung auch im Transfertest überlegen, was sich an der signifikant häufigeren Verwendung von physikalischen Erklärungen in dieser Unterrichtsgruppe zeigte (Hardy et al., 2006).

Ergebnisse bezüglich motivationaler und selbstbezogener Kognitionen

Zwischen beiden Unterrichtsgruppen gab es keinen Unterschied in der empfundenen Lernzufriedenheit der Schüler. In beiden Gruppen war diese ausgesprochen hoch. Das könnte damit zusammenhängen, dass auch die Einschätzung der eigenen Freiräume im Unterricht und die empfundene Eigenbeteiligung in beiden Gruppen gleich war: Die Schüler hatten in beiden Gruppen das ausgeprägte Gefühl, eigene Ideen einbringen, selbst etwas herausfinden und ausgiebig miteinander über die Ideen sprechen zu können sowie viele Experimente machen zu dürfen. Auch im Hinblick auf das nach dem Unterricht vorhandene Interesse gab es keinen Unterschied zwischen den Gruppen mit stärkerer bzw. geringerer Strukturierung im Unterricht. Deutliche Unterschiede, und zwar zugunsten der stärker strukturiert unterrichteten Gruppe, ergaben sich im Hinblick auf die selbstbestimmte Motivation, auf die empfundene Kompetenz, das empfundene Engagement und die entwickelte Erfolgszuversicht. Offensichtlich wurden die Kinder im Unterricht mit der stärkeren Strukturierung besser unterstützt, sodass sie sich engagierter wahrnahmen, mehr Kompetenz empfanden, stärker

intrinsisch motiviert waren und auch mehr Zuversicht ausbildeten, ein ähnliches Thema mit Erfolg im Unterricht bearbeiten zu können (Blumberg et al., 2003).

Weitere Analysen zeigten, dass dieser Effekt vor allem durch die leistungsschwächeren Schüler zustande kam, die sich im MIT-Unterricht signifikant stärker kompetent, engagiert und erfolgszuversichtlicher einschätzten als im OHNE-Unterricht, während sich für die leistungstärkeren Kinder kein Unterschied in den Unterrichtsgruppen ergab (Blumberg, Möller & Hardy, 2004).

2.3.6 Zusammenfassung der Ergebnisse der Münsteraner Schulstudie

Die Ergebnisse zeigen, dass ein anspruchsvoller, auf den Erwerb physikalischer Konzepte ausgerichteter Unterricht keineswegs eine Überforderung für Grundschul Kinder darstellt, wenn er Kindern Gelegenheit gibt, Ideen zu entwickeln und zu überprüfen, wichtige Erfahrungen zu machen und Fragestellungen zu bearbeiten, die Kinder interessieren. Auch in motivationaler Hinsicht stellt ein Unterricht, wie der hier geschilderte, keine Überforderung dar, was vor allem durch die hohe Lernzufriedenheit bestätigt wird. Andererseits zeigen die Ergebnisse, dass ein auf Selbst-Konstruktion von Wissen angelegter Unterricht auf unterstützende und strukturierende Maßnahmen angewiesen ist. Dieses trifft insbesondere für leistungsschwächere Schüler zu. Strukturierende Maßnahmen in schülerorientierten Lernumgebungen scheinen sich bei anspruchsvollen Inhalten positiv auf den nachhaltigen Abbau von Fehlkonzepten, auf den Aufbau wissenschaftsnaher Vorstellungen, auf die Anwendbarkeit von Wissen und die nachhaltige Integration von Wissen auszuwirken. Zudem fördern sie durch angemessene und dosierte Hilfen das Erleben von Kompetenz sowie von Engagement und wirken sich positiv auf die Motivation der Lernenden aus.

2.4 Eine Studie zur Nutzung von visuellen Darstellungsformen im konstruktivistisch orientierten Sachunterricht (Repräsentationsstudie)

Während in der im vorherigen Teil beschriebenen Studie der Grad an Strukturierung durch die Sequenzierung des Inhaltes und die Gesprächsführung im Unterricht variiert wurde, untersuchten wir in der nächsten Unterrichtsstudie die Nutzung von visuellen Darstellungsformen als einem Mittel zur Strukturierung. Visuelle Darstellungsformen wie Graphen oder Diagramme eignen sich zur Strukturierung von komplexen Inhalten, da Lernende bei ihrer Anwendung aktiv neue Erkenntnisse gewinnen und die Verbindung zwischen Variablen und unterschiedlichen Inhalten sehen lernen (z.B. Clement, 2000; Cox, 1999). So kann erwartet werden, dass Lernende im Inhaltsgebiet *Schwimmen und Sinken* leichter die proportionale Beziehung der Variablen „Volumen“ und „Masse“ für das Konzept „Dichte“ erkennen, wenn sie diese beispielsweise in einem Koordinatensystem einzeichnen (s.a. Koerber, 2003). Auch auf der Gesprächsebene unterstützen visuelle Darstellungsformen den Wissenserwerb, da sich Schüler (z.B. durch Zeigen) auf einen gemeinsamen Gesprächsgegenstand beziehen können (Roth & McGinn, 1998). Dies ist insbesondere von Vorteil, wenn die betreffenden wissenschaftlichen Begriffe den Kindern noch unbekannt sind, sie aber dennoch über ein physikalisches Phänomen sprechen möchten. Im Sinne von fächerübergreifendem Lernen kann die Verwendung von Darstellungsformen zur Förderung von Visualie-

rungskompetenzen (visual literacy) beitragen. Natürlich darf eine Darstellungsform nicht lediglich als illustratives Beiwerk eingeführt werden, sondern sollte der Modellierung von anspruchsvollen Inhalten dienen.

2.4.1 Die Unterscheidung zwischen vorgegebenen und selbst entwickelten Darstellungsformen

Für die Verwendung im Grundschulunterricht ist eine für die Schüler verständliche Form der visuellen Darstellung entscheidend. Eine wichtige Unterscheidung betrifft dabei die Verwendung von vorgegebenen, d.h. konventionellen Formen wie dem Koordinatensystem, oder aber von den Schülern selbst entwickelten visuellen Darstellungen (Lehrer & Schauble, 2000; van Dijk, Oers & Terwel, 2003). Da davon auszugehen ist, dass die Schülervorstellungen in einem komplexen Inhaltsgebiet wie *Schwimmen und Sinken* vor dem Unterricht noch unzureichend sind, werden die Fehlvorstellungen der Kinder auch in ihren Darstellungen zum Tragen kommen. So wird ein Kind, das vornehmlich auf das Gewicht von Gegenständen achtet, sich in einer selbst entwickelten Darstellungsform auf die Visualisierung des Gewichts konzentrieren. Die Entwicklung von Darstellungsformen, die dem zu untersuchenden Phänomen auch mathematisch und physikalisch entsprechen, muss deshalb von der Lehrkraft angeregt werden (vgl. Gravemeijer, 1999). Bei Verwendung einer vorgegebenen Form wie dem Graphen oder der weiter unten beschriebenen Balkenwaage werden Größen und deren Beziehungen hingegen schon von vornherein korrekt abgebildet. Allerdings müssen die Kinder hier zunächst mit den Interpretationsregeln der betreffenden Form vertraut gemacht werden.

In unserer Studie untersuchten wir, ob Drittklässler selbst visuelle Darstellungen für „Dichte“ im Kontext von *Schwimmen und Sinken* entwickeln sollten oder ob sie die Balkenwaage als eine vorgegebene Form der Darstellung nutzen sollten. Uns interessierte, welche Auswirkungen die Verwendung dieser Formen auf das konzeptuelle Verständnis von *Schwimmen und Sinken*, das proportionale Verständnis und die Fähigkeit zur Interpretation von Graphen hat. Wir gingen davon aus, dass die Balkenwaage sich insbesondere zur Förderung des proportionalen Verständnisses und der Visualisierungskompetenz im Sinne der Interpretation von Graphen eignen würde.

Die Balkenwaage (Abbildung 7) hat sich in einer Trainingsstudie zum proportionalen Denken bei Viertklässlern als besonders hilfreich erwiesen (Koerber, 2003). Sie ist durch das Gleichgewichtsprinzip in ihrer Funktionsweise leicht verständlich (vgl. DiSessa, 1993) und lässt über die aktive Handhabung Ursache-Wirkungs-Beziehungen direkt erfahren. Wird sie zur Veranschaulichung des Dichtekonzepts herangezogen, werden auf einer Seite Steine aufgesteckt, die das Volumen eines Gegenstandes repräsentieren; auf der anderen Seite wird die Masse durch Steine repräsentiert. Durch Verdoppeln der Steine auf jeder Seite kann ein größerer Gegenstand gleichen Materials repräsentiert werden, wobei der Balken im Gleichgewicht bleibt.

Während die Balkenwaage den Kindern im Unterricht vorgegeben wurde, bekamen die Kinder zur Selbstentwicklung von Formen der Repräsentation verschiedene Materialien (z.B. Papier und Stift, Schachteln, Klötzchen, Pappquadrate, Moosgummi, unterschiedlich farbige Pappen und Holzklötze), die zur Darstellung des Volumens und der Masse von Würfeln aus unterschiedlichen Materialien genutzt werden konnten (Abbildung 8). Die unterschiedlichen Lösungen wurden vorgestellt und im Gruppengespräch diskutiert.

Für den Unterricht wurden Elemente des bereits erprobten moderat konstruktivistischen Unterrichts zum *Schwimmen und Sinken* zur Entwicklung des Materialkonzepts, der Verdrängung und der Dichte übernommen (Hardy et al., 2006; Möller et al., 2002) und mit Sequenzen zum Umgang mit der jeweiligen Repräsentationsform ergänzt. Es resultierte eine Unterrichtssequenz von 11 Unterrichtsstunden (5 Doppelstunden und 1 Einzelstunde). Der Unterricht begann mit der Vorbereitungsstunde *Von der Wippe zur Waage* (für eine nähere Darstellung des Unterrichts und des Umgangs mit den Darstellungsformen siehe Hardy et al., 2004).

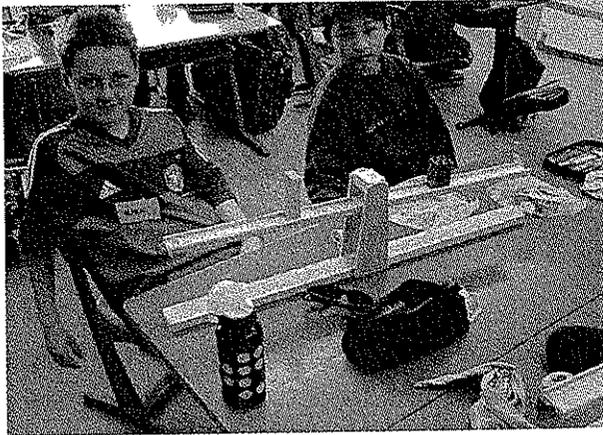


Abb. 7: Repräsentieren mit der Balkenwaage: Balkenwaage mit Legosteinen für Masse (links) und Duplosteinen für Volumen (rechts); auf dem Balken wird markiert, wo die Steine für Masse platziert werden müssen, damit der Balken für unterschiedliche Materialien im Gleichgewicht ist

Abb. 8: Selbst entwickelte Repräsentationsform: Repräsentation der Masse durch Holzplättchen und des Volumens durch die Größe der Unterlage

2.4.2 Beschreibung der experimentellen Studie

Der Unterricht wurde in vier Klassen des dritten Schuljahres ($N = 98$) durchgeführt, die hinsichtlich der Klassengröße, des Einzugsgebietes und der Vorerfahrungen mit naturwissenschaftlichen Themen des Sachunterrichts vergleichbar sind. Die Klassen wurden zufällig den Gruppen zugeordnet. Zur Erfassung des konzeptuellen Verständnisses von *Schwimmen und Sinken* wurde der oben beschriebene Fragebogen in einem Prä-Post-Testdesign eingesetzt. Zur Erfassung des proportionalen Verständnisses wurden für die Inhaltsgebiete „Geschwindigkeit“, „Mischverhältnisse“ und „Dichte“ jeweils sechs Items entwickelt, welche die Konstruktion von Verhältnissen erfordern (genaue Beschreibung der Aufgaben s. Hardy et al., 2004). Auch dieser Test wurde vor und nach dem Unterricht durchgeführt.

Zur Beantwortung der Frage, ob der Unterricht die Fähigkeit zur Grapheninterpretation förderte, wurde fünf Monate nach dem Unterricht mit 56 zufällig ausgewählten Kindern ein Interview durchgeführt. Das Interview begann mit einer kurzen Einführung in das Koordinatensystem. Darauf folgten zehn Fragen zur Interpretation von Dichte im Koordinatensystem (z.B. um zu prüfen, ob die Kinder erkennen konnten, ob ein bestimmtes eingezeichnetes Material schwimmt oder sinkt) und sechs Fragen zur Interpretation von Geschwindigkeiten (genaue Beschreibung des Interviews s. Hardy et al., 2005).

2.4.3 Effekte des Unterrichts

Der Unterricht führte zur signifikanten Verbesserung beim Test zum *Schwimmen und Sinken* (Summenwert) für beide Unterrichtsgruppen. Bei den Tests zum proportionalen Verständnis zeigte sich ebenfalls, dass sich beide Unterrichtsgruppen vom Prä- zum Posttest signifikant verbesserten; allerdings in Bezug auf unterschiedliche Inhaltsgebiete (weitere Analysen s. Hardy et al., 2004). Entgegen unserer Annahmen verbesserte sich also auch die Gruppe mit selbst entwickelten Darstellungen in Bezug auf das proportionale Denken. In Bezug auf die Leistung im Grapheninterview stellte sich erwartungsgemäß eine Überlegenheit der Kinder der Balkenwaagengruppe bei der Interpretation von Graphen im Dichtekontext heraus. Hingegen zeigte sich kein Unterschied bei der Interpretation von Graphen im Geschwindigkeitskontext (weitere Analysen s. Hardy et al., 2005).

2.4.4 Zusammenfassung der Ergebnisse der Repräsentationsstudie

Zusammenfassend zeigt diese Unterrichtsstudie, dass die Verwendung von visuellen Darstellungsformen eine Anreicherung für den Sachunterricht bedeutet, die zur Weiterentwicklung konzeptuellen Verständnisses bei Grundschulkindern in komplexen Inhaltsgebieten führte. Die Auswahl der entsprechenden Darstellungsformen (ob vorgegebene oder selbst entwickelte Formen) sollte dem jeweiligen Inhalt, Kenntnisstand der Kinder und didaktischen Zielsetzung entsprechen. Beim Umgang mit visuellen Darstellungsformen wird nicht nur das Verständnis von mathematischen Strukturen gefördert, die Kinder lernen auch implizit, wie neue Darstellungsformen zu interpretieren sind.

3 Implementierung eines konstruktivistisch orientierten naturwissenschaftlichen Unterrichts mit instruktionaler Unterstützung durch Lehrerfortbildungen

Obwohl, wie eingangs beschrieben, Konsens besteht, dass Kinder in der Grundschule bereits eine grundlegende naturwissenschaftliche Bildung erwerben sollen (z.B. Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts, 2002), ist festzustellen, dass Inhalte aus den Bereichen Chemie und Physik, also der unbelebten Natur, kaum im Grundschulunterricht realisiert werden (Einsiedler, 2002). Wie in vielen Ländern sind auch in Deutschland Grundschullehrkräfte eher Generalisten als fachliche Spezialisten. In den Disziplinen, die sich mit der unbelebten Natur beschäftigen, sind sie zudem häufig nicht ausgebildet. Viele Grundschullehrkräfte beschreiben ihr Verhältnis zu diesen Bereichen als distanziert und schätzen dort ihre eigenen Kompetenzen eher niedrig ein. Dies kommt u.a. auch in niedrigen Selbstwirksamkeitserwartungen bzgl. des Unterrichts von physik- und chemiebezogenen Themen zum Ausdruck (Landwehr, 2002; Möller, 2004). Wie bereits ausgeführt wurde, stellt jedoch ein konstruktivistisch und an *conceptual-change*-Theorien orientierter naturwissenschaftlicher Unterricht, in dem die Entwicklung konzeptuellen Verständnisses durch geeignete Strukturierungsmaßnahmen unterstützt wird, hohe Anforderungen an die fachlichen und fachdidaktischen Kompetenzen der Lehrkräfte (Duit, 1995; Möller, 2004).

In einer Fortbildungsstudie untersuchten wir daher, inwieweit Grundschullehrkräfte durch Lehrerfortbildungen für das Unterrichten eines solchen anspruchsvollen konstruktivistisch orientierten naturwissenschaftlichen Unterrichts qualifiziert werden können. Konkret untersuchten wir die Auswirkungen verschiedener Fortbildungskonzepte auf Aspekte des professionellen Lehrerwissens, insbesondere Vorstellungen zum Lehren und Lernen, sowie auf motivationale und selbstbezogene Variablen seitens der Lehrkräfte. Außerdem wurden mögliche Zusammenhänge des Lehrerwissens mit dem unterrichtlichen Handeln der Lehrkräfte sowie Effekte der verschiedenen Fortbildungskonzeptionen auf das naturwissenschaftliche Verständnis, das Schüler im Unterricht der fortgebildeten Lehrkräfte erreichen, untersucht. Im Folgenden werden zentrale Ergebnisse der Fortbildungswirkungen auf der Ebene der Lehrkräfte und auf der Ebene der Schüler dargestellt.

3.1 Fachspezifisch-pädagogisches Wissen von Lehrkräften

Die Fortbildungsstudie setzt, was die Gestaltung der Fortbildungen und die Evaluation der Wirkungen angeht, zentral am fachspezifisch-pädagogischen („fachdidaktischen“) Wissen der Lehrkräfte an. Dieses kann, wie von Bromme (1997) in Anlehnung an Shulman (1987) beschrieben, als zentraler Bereich des professionellen Lehrerwissens angesehen werden, da es eine Verschmelzung von fachlichen Inhalten mit pädagogisch-psychologischen Kenntnissen und eigenen Erfahrungen der Lehrperson darstellt. Daher wird angenommen, dass es eine wichtige Bedeutung für das unterrichtliche Handeln und damit für die Gestaltung von Lerngelegenheiten für die Schüler hat. Wenn hier die Rede von Wissen ist, sind die bewertenden Anteile, die mit dem Begriff der Überzeugung (belief) verbunden sind, mit einbezogen (Diedrich, Thußbas & Klieme, 2002).

Im Fokus unserer Untersuchung stehen Vorstellungen der Lehrkräfte über das Lehren und Lernen, da es mittlerweile einige Evidenz dafür gibt, dass diese sowohl eine wichtige Rolle für das unterrichtliche Handeln der Lehrkräfte als auch für das Lernen der Kinder spielen (Kagan, 1992; Pajares, 1992; Calderhead, 1996). So konnten Staub und Stern (2002) zeigen, dass eine konstruktivistisch orientierte Vorstellung vom Lehren und Lernen im Mathematikunterricht der Grundschule mit dem Einsatz von verstehensorientierten Aufgaben im Unterricht und einem größeren Lernzuwachs bei den Kindern einhergeht. Stipek et al. (2001) fanden Zusammenhänge zwischen der Überzeugung von Lehrkräften, dass Mathematik vorrangig aus dem Beherrschen von Rechenprozeduren und Fakten bestehe, und einem weniger verstehensorientierten und eher leistungs- als lernorientierten Handeln der Lehrkräfte im Unterricht. Lehrkräfte mit eher „traditionellen“ Lehr-Lernvorstellungen erzeugten in stärkerem Maße ein Unterrichtsklima, in dem es gilt, Fehler zu vermeiden, und sie gaben ihren Schülern weniger Freiräume für selbstbestimmtes Lernen.

Vorliegende Untersuchungen haben gezeigt, dass Grundschullehrkräfte häufig sehr schülerorientierte Vorstellungen zum Lehren und Lernen von Naturwissenschaften haben (Levitt, 2002). Sie sind bspw. überzeugt, dass im Unterricht Interessen der Kinder aufgegriffen werden sollten und dass die Kinder eigene Lernwege verfolgen dürfen. Auf der anderen Seite gibt es aber auch zahlreiche Hinweise auf Vorstellungen, die an „traditionellen“, assoziationalistischen Lerntheorien orientiert sind und oft als transmissive (transmission) Vorstellungen bezeichnet werden (Smith & Neale, 1991; Porlán & Martín del Pozo, 2004). Diesen Vorstellungen zufolge kommt Lehrkräften

die Aufgabe zu, den Schülern „fertiges“ Wissen zu übermitteln, wobei die Schüler dieses Wissen eher rezeptiv aufnehmen. Wie das für Vorstellungssysteme charakteristisch ist, können offensichtlich vermeintlich widersprüchliche Vorstellungen parallel beibehalten werden (Pajares, 1992). Sehr weit verbreitet sind offensichtlich „praktizistische“ Vorstellungen (Gustafson & Rowell, 1995; Keys, 2005), wonach konzeptuelles Verständnis im Unterricht allein durch praktisches Handeln der Schüler erreicht werden kann. Dass naturwissenschaftliches Lernen bei Grundschulkindern, wie eingangs beschrieben, eine Veränderung vorhandener Vorstellungen bedeutet, findet sich nur selten in den Vorstellungen von Grundschullehrkräften (Heran-Dörr, 2006).

3.2 Die Veränderung von Vorstellungen zum Lehren und Lernen bei Lehrkräften

Vor dem Hintergrund der dargestellten Befunde ist davon auszugehen, dass Lehrkräfte ihre Vorstellungen über das Lehren und Lernen verändern oder zumindest erweitern müssen, wenn sie anspruchsvollen, kognitiv aktivierenden und den Konzeptwechsel fördernden Sachunterricht realisieren sollen. Der notwendige Prozess bei den Lehrkräften kann auch als *conceptual change* in den Vorstellungen der Lehrkräfte verstanden werden. Vorliegende Untersuchungen haben allerdings gezeigt, dass die Veränderung von Vorstellungen zum Lehren und Lernen generell als schwierig anzusehen ist. Sie scheint insbesondere im Rahmen kurzfristiger Interventionen nicht möglich zu sein (van Driel, Beijaard & Verloop, 2001). Vielmehr besteht weitgehender Konsens, dass Lehrerfortbildungen selbst an konstruktivistischen Merkmalen orientiert sein sollten und insbesondere nur dann erfolgreich sein können, wenn sie die vorhandenen Vorstellungen der Lehrkräfte aufgreifen (Northfield, Gunstone & Erickson, 1996).

Wegen der geringen Vorerfahrungen der Grundschullehrkräfte im Bereich der Naturwissenschaften (speziell im Bereich der unbelebten Natur) sollte dabei eine tutorielle, adaptive Unterstützung im Sinne des *cognitive-apprenticeship*-Ansatzes (vgl. Collins, Brown & Newman, 1989) nötig sein. Eine Fortbildungsstrategie dagegen, die auf einen weitgehend selbstgesteuerten Lernprozess der Lehrkräfte setzt, indem diese sich das fachliche und fachdidaktische Wissen auf der Basis bereitgestellter schriftlicher Materialien erarbeiten, sollte für die notwendigen Veränderungen der vorhandenen Vorstellungen der Lehrkräfte nicht ausreichen, auch wenn eine solche Strategie vielleicht ökonomisch wünschenswert erscheinen könnte. Außerdem gibt es Hinweise darauf, dass Veränderungen dann begünstigt werden, wenn die Aufmerksamkeit der Lehrkräfte auf die Lernprozesse der Schüler und weniger auf das Lehren gerichtet wird. Dies kann durch die Untersuchung von individuellen Schülerlernprozessen im Rahmen von situierten Lernforschungselementen geschehen (vgl. Tabachnik & Zeichner, 1999).

Neben der Veränderung und Erweiterung des professionellen Wissens der Lehrkräfte sollte es vor dem Hintergrund der oben skizzierten Situation aber auch entscheidend sein, die Lehrkräfte für das Unterrichten von Themen aus dem Bereich der unbelebten Natur zu motivieren und ihre Selbsteinschätzungen der eigenen Kompetenzen im Unterrichten dieser Themen zu verbessern.

In der Fortbildungsstudie gingen wir daher folgenden zentralen Fragen nach: Können Vorstellungen zum Lehren und Lernen im naturwissenschaftsbezogenen Lernfeld sowie motivationale und selbstbezogene Voraussetzungen bei Grundschullehrkräften durch Fortbildungsmaßnahmen überhaupt verändert werden? Welchen

Einfluss hat dabei eine tutorielle, adaptive Unterstützung? Wenn es möglich ist, die Vorstellungen zum Lehren und Lernen bei Lehrkräften zu verändern: Spiegeln sich diese modifizierten Vorstellungen dann auch im unterrichtlichen Handeln der Lehrkräfte wider? Und schließlich: Haben längerfristige Lehrerfortbildungen, die an konstruktivistischen Prinzipien orientiert gestaltet sind, einen Effekt auf Lernzuwächse, die Schüler im naturwissenschaftlichen Unterricht der fortgebildeten Lehrkräfte erreichen?

3.3 Zur Gestaltung der Lehrerfortbildungen

Um diesen Fragen nachzugehen, wurden drei Fortbildungen zum naturwissenschaftlichen Sachunterricht konzipiert und durchgeführt: Zwei Gruppen (Experimentalgruppen, EGs) erhielten je 16 ganztägige Präsenz-Fortbildungen, in denen die Teilnehmer tutoriell unterstützt durch eine Fortbildungsleiterin naturwissenschaftsbezogenes fachliches und fachdidaktisches Wissen erwerben konnten. Die Fortbildungen wurden konstruktivistisch orientiert gestaltet, d.h. die vorhandenen fachlichen naturwissenschaftsbezogenen Präkonzepte der Lehrkräfte wurden aufgegriffen und genetisch und verstehensorientiert weiterentwickelt. Die Lehrkräfte wurden dazu angeregt, ihre Vorstellungen zu den thematisierten Naturphänomenen untereinander zu diskutieren und Möglichkeiten der Überprüfung dieser Vorstellungen durch Experimente zu entwickeln. Die Fortbildungsleitung strukturierte diesen Prozess in ähnlicher Weise, wie dies weiter oben für die Strukturierungsmaßnahmen im Unterricht zum *Schwimmen und Sinken* beschrieben wurde. Außerdem regte sie die Teilnehmer zur Reflexion des eigenen naturwissenschaftlichen Lernprozesses an und fokussierte dabei die Bedeutung vorhandener Präkonzepte sowie der Schwierigkeit und der Bedingungen ihrer Veränderung in Richtung sachlich angemessenerer Vorstellungen. Konsequenzen für den naturwissenschaftlichen Sachunterricht, typische Vorstellungen von Grundschulern, die Gesprächsführung im Klassengespräch, Arbeitsaufträge und Unterrichtsplanungen wurden gemeinsam diskutiert. Auf diese Weise waren der Erwerb des fachlichen und des fachdidaktischen Wissens eng aufeinander bezogen. Im Sinne des so genannten „fading“² wurde die tutorielle Unterstützung durch die Fortbildungsleitung im Laufe der 16 Fortbildungstage schrittweise zurückgenommen. Die Fortbildungsleitung war in beiden Gruppen dieselbe.

Eine der beiden EGs (EG-MIT) nahm innerhalb der Fortbildung an einem Lernforschungsmodul teil, in dem die Teilnehmer die Lernprozesse jeweils eines Kindes in einem von der Fortbildungsleitung demonstrierten 6 Doppelstunden umfassenden Unterricht zum Thema *Schwimmen und Sinken* anhand von Einzelinterviews vor und nach dem Unterricht analysierten und die Kinder während des Unterrichts mit Hilfe eines „Aufmerksamkeitsbogens“ beobachteten. Die Daten wurden gemeinsam ausgewertet und diskutiert. Die zweite EG (EG-OHNE) diskutierte ausgewählte Videoausschnitte des demonstrierten Unterrichts zum Thema *Schwimmen und Sinken* im Hinblick auf die Lehrerrolle im Lernprozess der Kinder im Rahmen der Fortbildung.

Eine dritte Gruppe diente als Kontrollgruppe (KG). Sie eignete sich das fachliche und fachdidaktische Wissen weitgehend selbstgesteuert, d.h. ohne tutorielle Unterstützung, im „Selbststudium“ auf der Basis schriftlicher Handreichungen zu 11 naturwissenschaftsbezogenen Unterrichtsthemen an. Die Handreichungen waren vom

2 Mit „fading“ ist das schrittweise Ausblenden von tutorieller Unterstützung im Rahmen von Instruktion gemeint.

Seminar für Didaktik des Sachunterrichts für die Fortbildungen verfasst worden. Sie enthielten in einem allgemeinen Teil eine Beschreibung konstruktivistisch orientierter Ansätze zum Lehren und Lernen von Naturwissenschaften und in einem speziellen auf das jeweilige Unterrichtsthema bezogenen Teil verständlich aufbereitete Informationen zum fachlichen Hintergrund des Themas, zu typischen Schülervorstellungen sowie Vorschläge für die Unterrichtsgestaltung, für Arbeitsblätter und Stationenkarten. Außerdem erhielten die Teilnehmer eine kommentierte Videokassette mit Unterrichtsausschnitten zum Thema *Schwimmen und Sinken*. Diese Unterlagen standen den Teilnehmern aller drei Gruppen zur Verfügung. Die Teilnehmer der KG trafen sich während der Fortbildungszeit zweimal, um Erfahrungen austauschen und Fragen klären zu können. Außerdem konnten sie sich in Arbeitsgruppen organisieren und austauschen.

Alle drei Gruppen bearbeiteten die gleichen 11 naturwissenschaftsbezogenen Unterrichtsthemen (z.B. „Luft und Luftdruck“, „Schall“, „elektrischer Strom“, „Schwimmen und Sinken“) sowie die gleichen fachdidaktischen Inhalte (z.B. Experimente und Gesprächsführung im naturwissenschaftlichen Sachunterricht, wissenschaftliches Arbeiten) und hatten zudem die gleichen Unterrichtsmaterialien in Form von Klassenkisten (s. Abschnitt 5) zu jedem Thema zur Verfügung. Außerdem erstreckten sich alle Fortbildungen über fünf Monate und alle teilnehmenden Lehrkräfte sollten in dieser Zeit drei der erarbeiteten fachlichen Themen im eigenen Unterricht erproben.

3.4 Beschreibung der Untersuchung

Die folgende Graphik (Abbildung 9) gibt eine Übersicht über die Untersuchungsanlage. Zusätzlich zu den drei skizzierten Fortbildungsgruppen wurde noch eine Basisgruppe aufgenommen, die keine Fortbildung erhielt. Vor und nach den Fortbildungen führten die Lehrkräfte Unterricht zu zwei vorgegebenen naturwissenschaftlichen Themen durch. Dieser Unterricht wurde videographiert. Das Thema des Unterrichts nach der Fortbildung war das bereits für die o.g. Unterrichtsstudien gewählte Thema *Schwimmen und Sinken*. Dieses Thema wurde von 46 der insgesamt 54 an den Fortbildungen teilnehmenden Lehrkräfte im Schulhalbjahr nach der Fortbildung in dritten oder vierten Klassen unterrichtet. Um die materielle Ausstattung für diesen Unterricht konstant zu halten, wurde jedem Teilnehmer eine sog. Klassenkiste mit Unterrichtsmaterialien zur Verfügung gestellt. Vor und nach dem Unterricht wurde das Verständnis der Kinder vom *Schwimmen und Sinken* mit einem leicht modifizierten Test aus der Unterrichtsstudie erfasst. Unterrichtswahrnehmungen der Schüler wurden ebenfalls mit Hilfe eines Fragebogens erfasst. Insgesamt liegen Daten von 1039 Schülern vor.

Ebenfalls vor und (zweimal) nach der Intervention bearbeiteten die Lehrkräfte einen Fragebogen, in dem unter anderem die Vorstellungen der Lehrkräfte zum Lehren und Lernen sowie motivationale und selbstbezogene Variablen erfasst wurden. Ergebnisse des Follow-up-Fragebogens (3. Messzeitpunkt, MZP) liegen derzeit noch nicht vor.

9.2003–2.2004			3.2004–7.2004			9.2004–11.2005		
			EG OHNE Lernforschungs- modul N = 18					
Paralleli- sierungs- Frage- bogen	Unterrichts- beobach- tung Video 1. MZP	Lehrer- Frage- bogen 1. MZP	EG MIT Lernforschungs- modul N = 18	Lehrer- Frage- bogen 2. MZP	Schüler- Frage- bogen 1. MZP	Unterrichts- beobach- tung Video 2. MZP	Schüler- Frage- bogen 2. MZP	Lehrer- Frage- bogen 3. MZP
			Selbststudiums- gruppe N = 18					
			Basisgruppe ohne Fortbildung N = 18					

Abb. 9: Übersicht über die Untersuchungsanlage

Die Teilnehmer wurden über eine Ausschreibung der Fortbildungen durch die Bezirksregierung Münster gewonnen, die die Fortbildungen über Stundenentlastungen förderte. Dabei wurden die Fortbildungen getrennt nach EGs und KG als Zertifikatskurs (EG) und als Selbststudiumskurs (KG) ausgeschrieben. Es interessierten sich 96 Lehrkräfte, sodass die Teilnehmer auf der Basis eines Parallelisierungsfragebogens ausgewählt werden konnten. Ziel war es, in den drei Gruppen möglichst ähnliche Voraussetzungen auf Seiten der Lehrkräfte zu haben. Deshalb erfolgte eine Parallelisierung der Gruppen nach Vorstellungen zum Lehren und Lernen, motivationalen Orientierungen und Ausbildungshintergrund. Die Basisgruppe setzte sich aus dem Kreis der ursprünglichen Interessenten zusammen, die nicht in einer der drei Fortbildungen aufgenommen werden konnten. Zu beachten ist sicherlich, dass es sich bei den Teilnehmern der Studie um insgesamt eher fortbildungsinteressierte Lehrkräfte handelt. Allerdings zeigten die Erhebungen zu den Eingangsvoraussetzungen, dass sich die Lehrkräfte im Bereich Naturwissenschaften weitgehend als Novizen einschätzten.

Die Vorstellungen der Lehrkräfte zum Lehren und Lernen und die motivationalen wie selbstbezogenen Lehrervariablen wurden, wie bereits angedeutet, mit einem in der Gruppe entwickelten Fragebogeninstrument erfasst (zu dessen Entwicklung vgl. Kleickmann, Möller & Jonen, 2005). Dieses umfasst 6 Skalen, die konstruktivistisch geprägte Vorstellungen vom Lehren und Lernen abbilden. In Klammern sind in dieser Reihenfolge die Anzahl der Items pro Skala sowie Cronbachs α -Werte für den Vor- und den Nachtest angegeben:

- „Motivation als notwendige Voraussetzung für Lernen“ (4; .70, .74)
- „Kinder sollen eigene Ideen entwickeln und individuelle Lernwege nehmen dürfen“ (9; .83, .74)
- „Lehren und Lernen im Sinne von *conceptual change*“ (6; .71, .86)
- „Kinder haben Präkonzepte, die u. U. zu Lernschwierigkeiten führen können“ (3; .69, .82)
- „Kinder sollten ihre Vorstellungen im Unterricht untereinander austauschen“ (4; .71, .65)
- „Lerngelegenheiten sollten in Alltagskontexte eingebettet sein“ (5; .68, .75)

Der Fragebogen umfasste außerdem drei Skalen zu weiteren Lehr-/Lernverständnissen:

- „Transmissives Lehr-Lernverständnis“, s. o. (7; .65, .70)
- „Sehr offenes Lehr-Lernverständnis“, dem zufolge die Kinder „selbstgesteuert“ lernen sollten und z.B. Strukturierungsmaßnahmen durch die Lehrkraft nicht nötig sind (5; .73, .76)
- „Praktizistisches Lehr-Lernverständnis“, s. o. (5; .72, .75)

Alle Items der Skalen zum Lehr-Lernverständnis waren auf das *naturwissenschaftliche* Lehren und Lernen bezogen. Vier weitere Skalen erfassten motivationale und selbstbezogene Lehrervariablen:

- „Sachinteresse an Physik“ (4; .81, .78)
- „Interesse am Unterrichten von physikbezogenem Sachunterricht“ (4; .83, .86)
- „Selbstwirksamkeitserwartungen bzgl. physikbezogenem Sachunterricht“ (4; .82, .88)
- „Fähigkeitsselbstkonzept Physik“ (4; .85, .85)

Hinsichtlich der Skalen zum konstruktivistisch orientierten Lehr-Lernverständnis sowie zu den motivationalen und selbstbezogenen Skalen erwarteten wir einen stärkeren Zuwachs in den drei Fortbildungsgruppen als in der Basisgruppe und wegen der tutoriellen Unterstützung insbesondere auch stärkere Zuwächse in den EGs als in der KG. Wegen des Lernforschungsmoduls in der EG-MIT erwarteten wir dort stärkere Effekte als in der EG-OHNE. Für die Skalen zu den weiteren Lehr-Lernverständnissen erwarteten wir das Gegenteil, also einen stärkeren Abbau dieser Vorstellungen in den Fortbildungsgruppen als in der Basisgruppe usw.

3.5 Effekte der Fortbildungen

3.5.1 Effekte der Fortbildungen auf Ebene der Lehrkräfte

Anders als erwartet konnten keine signifikanten Effekte der Fortbildungsgruppen in den Bereichen „Motivation als notwendige Voraussetzung“, „Eigene Ideen entwickeln“, „Ideen diskutieren“, „Alltagskontexte“ bei insgesamt schon vor den Fortbildungen recht hohen Mittelwerten und auch keine Effekte in den Skalen „transmissive Lehrervorstellung“, „sehr offene Lehrervorstellung“ sowie beim „Sachinteresse“ bei insgesamt bereits vor der Intervention recht niedrigen Mittelwerten gefunden werden (Kleickmann, Möller & Jonen, in Druck).

Deutliche Unterschiede ergaben sich jedoch in den Vorstellungen „*conceptual change*“ und „Präkonzepte“ der Lehrkräfte: Die Teilnehmer der Experimentalgruppen entwickelten in stärkerem Maße eine Vorstellung, die das naturwissenschaftliche Lehren und Lernen als *conceptual change* sieht (Abbildung 10), und maßen den vorunterrichtlichen Vorstellungen der Kinder mehr Bedeutung bei (Abbildung 11).

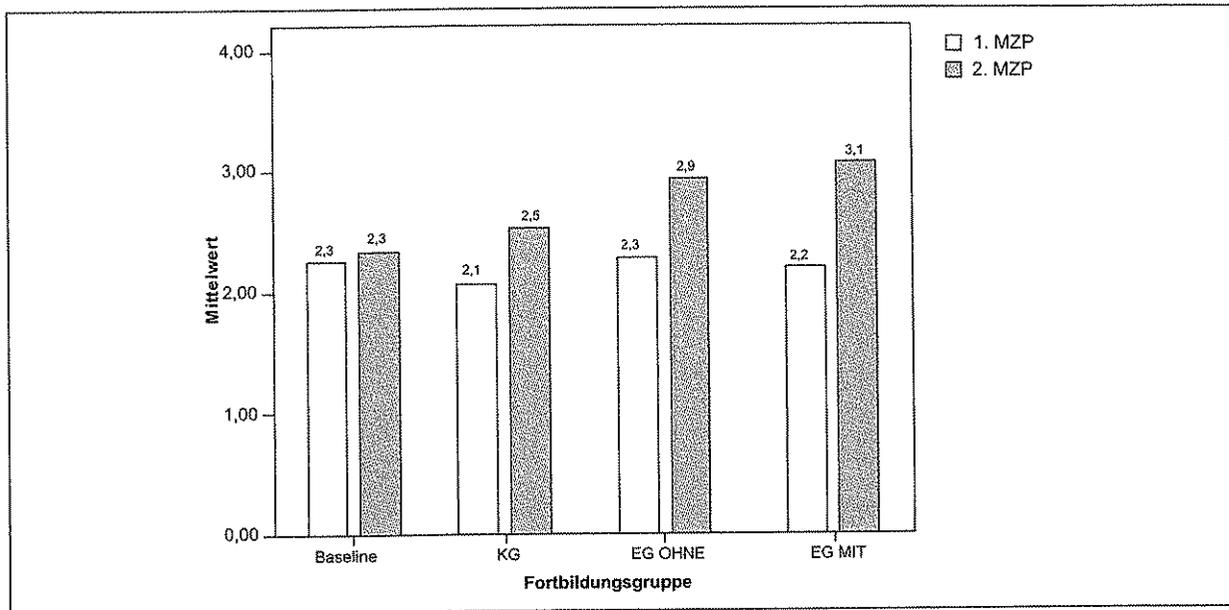


Abb. 10: Fortbildungseffekte auf die Lehrervorstellung „Lehren und Lernen als *conceptual change*“

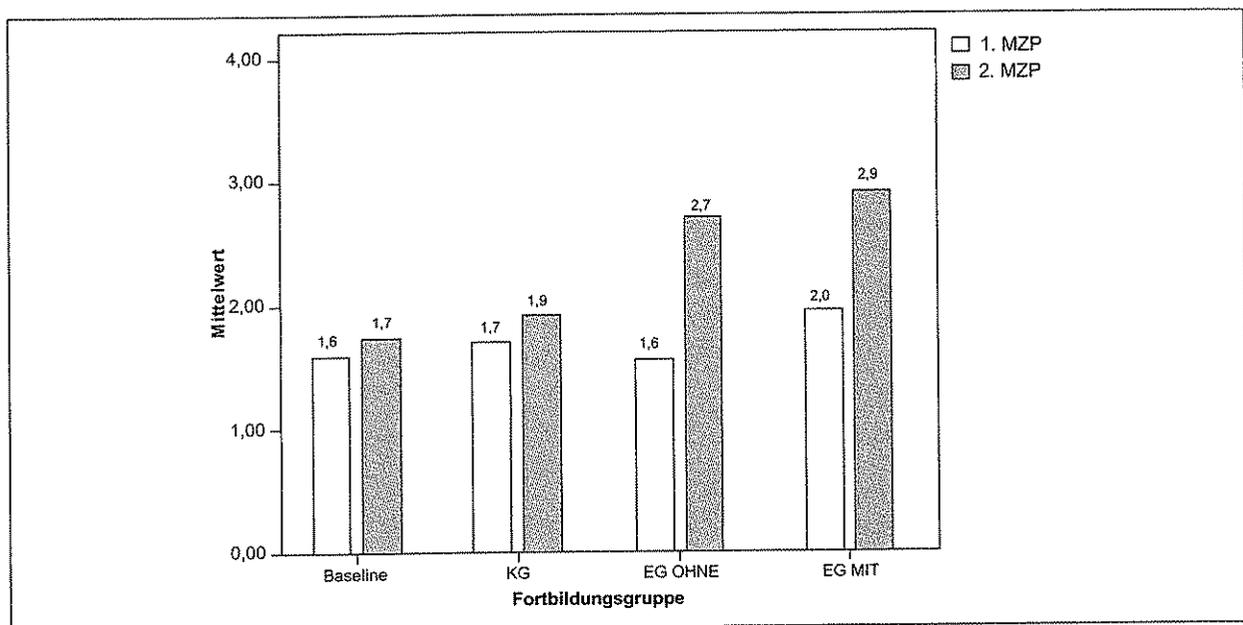


Abb. 11: Fortbildungseffekte auf die Lehrervorstellung „Schüler mit Präkonzepten“

Darüber hinaus bauten die Lehrkräfte der beiden Experimentalgruppen die „praktizistische“ Vorstellung in signifikant stärkerem Maße ab, als dies die Teilnehmer der Selbststudiumsgruppe taten. Anders als erwartet waren diese nach dem Selbststudiumskurs sogar „praktizistischer“ orientiert als vorher.

Das Interesse am Unterrichten von physikbezogenem Sachunterricht, die auf diesen Unterricht bezogenen Selbstwirksamkeitserwartungen der Lehrkräfte und ihr Fähigkeitsselbstkonzept bzgl. Physik konnten in allen drei Fortbildungsgruppen signifikant gesteigert werden, während dies bei der Basisgruppe nicht der Fall war (vgl. Abbildung 12).

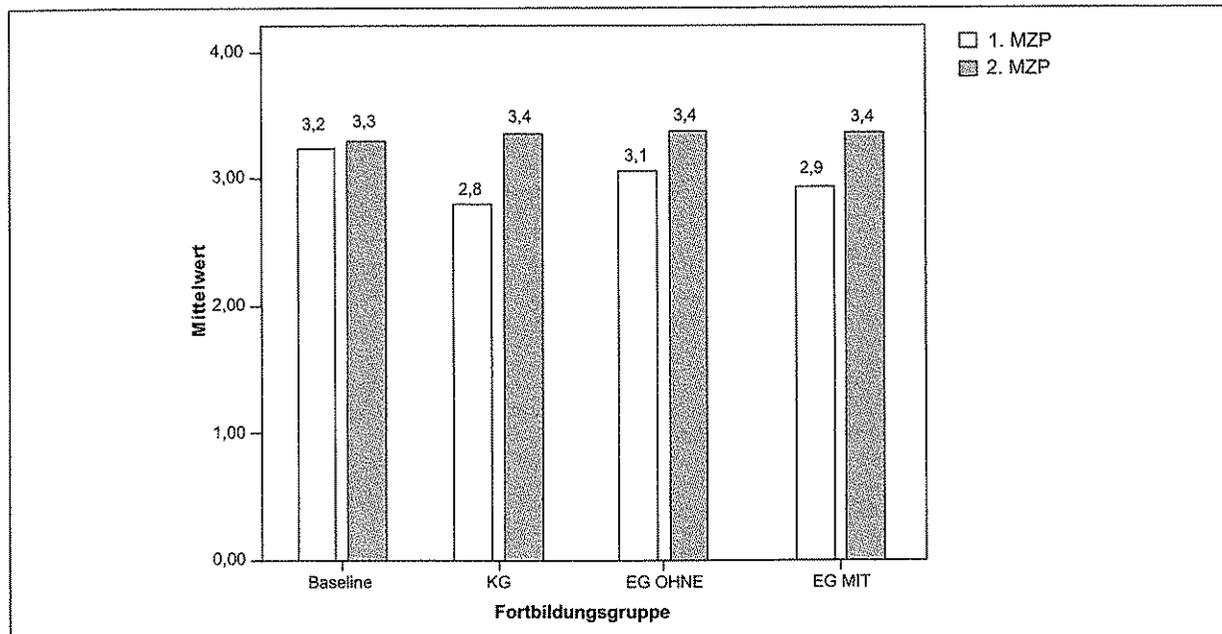


Abb. 12: Fortbildungseffekte auf das Interesse am Unterrichten physikbezogenen Sachunterrichts

3.5.2 Effekte der Fortbildungen auf Ebene der Schüler

Neben der Frage, ob Lehrerfortbildungen Veränderungen im professionellen Wissen und in den motivationalen Orientierungen von Lehrkräften hinsichtlich des Unterrichts von naturwissenschaftsbezogenen Inhalten auslösen können, wurde des Weiteren untersucht, ob längerfristige Lehrerfortbildungen, die an konstruktivistischen Prinzipien orientiert gestaltet sind, auch einen Effekt auf das naturwissenschaftliche Verständnis, das Schüler im Unterricht der fortgebildeten Lehrkräfte erreichen, haben können. Zu diesem Zweck wurde der Unterricht zum Thema *Schwimmen und Sinken* von 46 Lehrkräften aus allen drei Gruppen im Hinblick auf die Lernzuwächse der unterrichteten Schüler analysiert. Zunächst wurden die mittleren Lernzuwächse der 46 Klassen errechnet. Dabei wurden die Klassen, die von Teilnehmern der beiden Experimentalgruppen unterrichtet worden waren, mit den Klassen verglichen, deren Lehrkräfte an der Fortbildung durch Selbststudium teilgenommen hatten.

In Abbildung 13 ist zu erkennen, dass die von den „Experimentalgruppen-Lehrkräften“ unterrichteten Klassen im Durchschnitt höhere Lernzuwächse zeigten als die Klassen, die von den „Selbststudiums-Lehrkräften“ unterrichtet worden waren. Mehrebenenanalysen, die der geschachtelten Struktur der untersuchten Daten (Schüler einer Klasse sind einer Lehrkraft zugeordnet) Rechnung tragen, zeigen, dass sich die Lernzuwächse der Schüler der „Experimentalgruppen-Lehrkräfte“ signifikant von denen der Schüler der „Selbststudiums-Lehrkräfte“ unterscheiden. Dieser Unterschied bleibt auch bestehen, wenn bei den Berechnungen die Unterrichtszeit und die Berufserfahrung der Lehrkräfte kontrolliert werden. In weiteren Mehrebenenanalysen zeigte sich, dass höhere Lernfortschritte der Schüler insbesondere durch höhere Ausprägungen in den Vorstellungen „Lehren und Lernen als *conceptual change*“ und „Bedeutung von Präkonzepten“ erklärt werden können. Bei diesen Berechnungen wurden dieselben o.g. Variablen sowie das physikbezogene Fähigkeitsselbstbild und Interesse der Lehrkräfte kontrolliert.

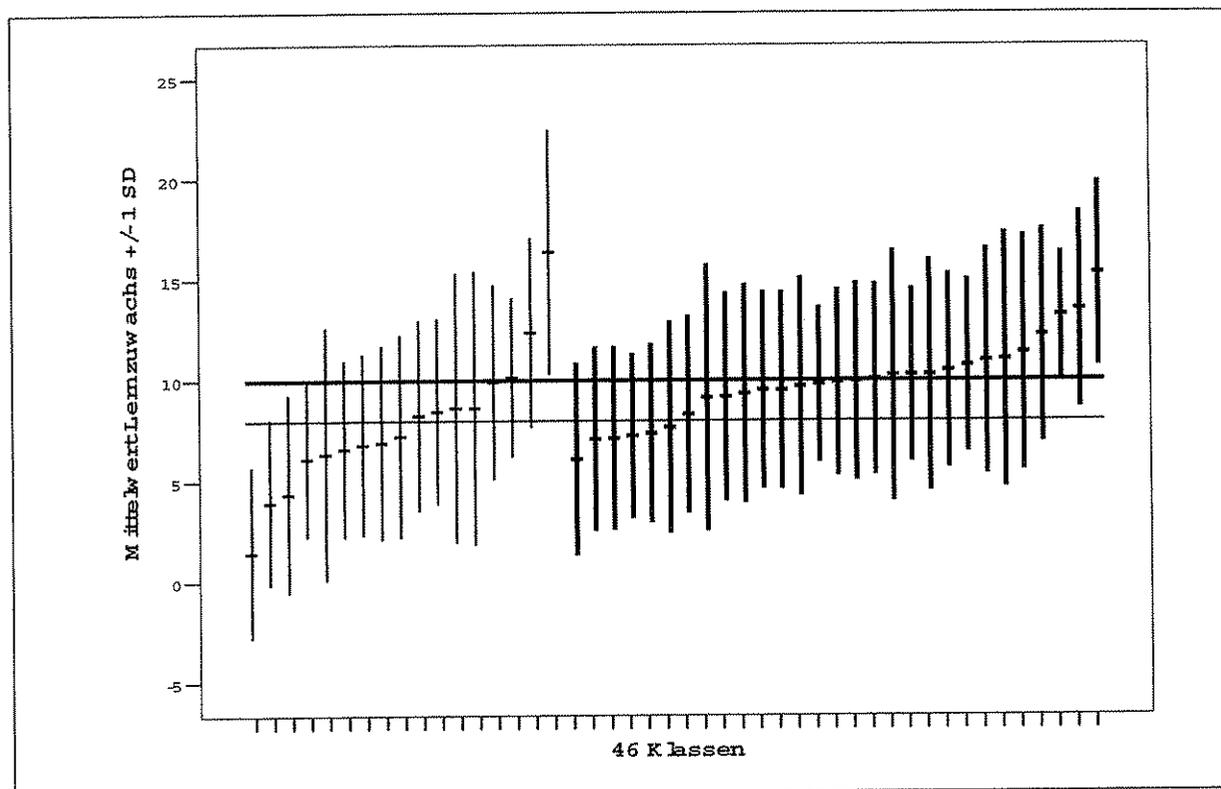


Abb. 13: Über die Klassen gemittelte Lernzuwächse (\pm eine Standardabweichung); dünne Linien stehen für Klassen, die von „Selbststudiums-Lehrkräften“ unterrichtet wurden, fett gesetzte für die Klassen der EG-Lehrkräfte. Die obere (fett gesetzte) horizontale Linie zeigt den über alle „EG-Klassen“ gemittelten Lernzuwachs, die untere (dünne) Linie den Mittelwert der Klassen der Selbststudiums-Lehrkräfte

3.6 Zusammenfassung zentraler Ergebnisse der Fortbildungsstudie

Auf der Ebene der Lehrkräfte zeigen die Ergebnisse, dass umfangreiche an konstruktivistischen Prinzipien orientierte und tutoriell unterstützte Lehrerfortbildungen Veränderungen in den Vorstellungen der Lehrkräfte über das Lehren und Lernen als Bestandteil ihres professionellen Wissens bewirken können. Dies gilt insbesondere für den Aufbau der Vorstellung, naturwissenschaftliches Lehren und Lernen als Veränderung bestehender Konzepte der Schüler zu sehen (Skalen „*conceptual change*“ und „Präkonzepte“), aber auch für den Abbau „praktizistischer“ Vorstellungen. Für die Veränderung dieser Vorstellungen scheint ein weitgehend selbstgesteuerter Wissenserwerb der Lehrkräfte, wie er in der Selbststudiumsgruppe realisiert wurde, nicht auszureichen. Insgesamt scheint bereits vor der Intervention eine hohe allgemeine Schülerorientierung in den Vorstellungen der Grundschullehrkräfte vorgelegen zu haben. Neben Veränderungen im professionellen Wissen der Lehrkräfte konnten auch deren Interesse am Unterrichten physikbezogener Themen sowie die Einschätzungen der eigenen Kompetenzen in Physik und im Unterrichten von physikbezogenem Sachunterricht gefördert bzw. verbessert werden. Diese Verbesserung der im weiteren Sinne motivationalen Orientierungen in Bezug auf Unterrichtsthemen aus der unbelebten Natur wurde in allen drei Fortbildungen erreicht. Eine Überlegenheit der tutoriell unterstützten Fortbildungsgruppen konnte in diesem Bereich aber tendenziell nachgewiesen werden.

Auf der Ebene der Schüler zeigte sich, dass jene Schüler, die von Lehrkräften aus den Experimentalgruppen unterrichtet wurden, höhere Lernzuwächse erreichten als die

Schüler, die von Lehrkräften unterrichtet wurden, die an dem Selbststudiumskurs teilgenommen hatten. Dieser Fortbildungseffekt bis auf die Schülerebene konnte festgestellt werden, obwohl allen Lehrkräften eine Klassenkiste mit Experimentiermaterial zum Thema *Schwimmen und Sinken* und eine ausgearbeitete Unterrichtsreihe mit fachlichen und didaktisch-methodischen Hinweisen zur Verfügung gestellt wurde.

Ein Effekt des Lernforschungselements konnte auf der Basis der bisherigen Auswertungen noch nicht nachgewiesen werden. Hier könnten die in einem Follow-Up nach einem Jahr erhobenen Vorstellungen zum Lehren und Lernen noch weiteren Aufschluss bieten – die Auswertungen sind allerdings noch nicht beendet. Von der Auswertung von offenen Fragen im Fragebogen und von Interviews mit den Lehrkräften erhoffen wir uns noch differenziertere Einblicke in die Veränderung der Vorstellungen zum Lehren und Lernen. Die noch laufende Analyse der videographierten Unterrichtsstunden und der Schülerdaten wird Erkenntnisse über die Relevanz der erfassten Vorstellungen zum Lehren und Lernen für das Handeln der Lehrkräfte und für weitere Zielkriterien seitens der Schüler liefern.

4 Zusammenfassende Diskussion der drei Studien

Die Ergebnisse der Unterrichtsstudien belegen, dass bereits Grundschul Kinder ein anspruchsvolles naturwissenschaftliches Verständnis, das weit über ein reines „Faktenwissen“ hinausgeht, aufbauen können. Wie am Beispiel des Themas *Schwimmen und Sinken* gezeigt werden konnte, wird der Erwerb eines solchen konzeptuellen Wissens durch einen kognitiv aktivierenden und die Überprüfung eigener Vorstellungen anregenden Unterricht, der darüber hinaus Strukturierungselemente aufweist, besonders gefördert. Insbesondere Schüler mit schlechteren Lernvoraussetzungen benötigen bei anspruchsvollen naturwissenschaftlichen Themen eine strukturierende Gesprächsführung (scaffolding) und eine Lernumgebung, in der die Komplexität der behandelten Fragestellung durch eine Sequenzierung in überschaubare Teilfragen reduziert ist. Strukturierung bedeutet dabei ausdrücklich nicht, dass den Kindern (Teil-)Lösungen oder Erklärungen vorgegeben werden oder dass die Inhalte kleinschrittig und eng geführt erarbeitet werden. Der in der Münsteraner Schulstudie untersuchte strukturiertere Unterricht war dem weniger strukturierten („Werkstatt-“) Unterricht nicht nur in Bezug auf das erreichte, nachhaltige naturwissenschaftliche Verständnis der Schüler, sondern auch mit Blick auf deren Motivation und Kompetenzerleben im Unterricht sowie auf die entwickelte Erfolgsoversicht der Schüler überlegen.

Die Ergebnisse der Repräsentationsstudie zeigten darüber hinaus, dass visuelle Darstellungsformen, in denen die argumentativen bzw. logischen Beziehungen grundlegender Konzepte bei dem erarbeiteten Thema wiedergegeben werden, für die Schüler geeignete „Denkwerkzeuge“ darstellen, die das naturwissenschaftliche Verständnis vertiefen und den Erwerb fächerübergreifender Kompetenzen, wie das proportionale Denken, fördern können.

In einer Fortbildungsstudie konnte gezeigt werden, dass praktizierende Grundschullehrkräfte, obwohl sie in ihrer bisherigen Ausbildung kaum Kontakt mit naturwissenschaftlichen Inhaltsbereichen hatten, durch langfristige Fortbildungsmaßnahmen, die an konstruktivistischen Ansätzen orientiert sind und eine intensive tutorielle Unterstützung beim Erwerb des fachlichen und fachdidaktischen Wissens bieten, für das Unterrichten anspruchsvoller naturwissenschaftlicher Themen qualifiziert und motiviert werden können. Durch derartige Fortbildungen kann erreicht

werden, dass Lehrkräfte ihr Verständnis von naturwissenschaftlichem Lehren und Lernen verändern und angemessenere Vorstellungen darüber entwickeln. Für diese Veränderungen reicht es offensichtlich nicht aus, den Lehrkräften das entsprechende Wissen nur in Form von Handreichungen und Unterrichtsmaterialien zur Verfügung zu stellen. Die Überlegenheit der tutoriell unterstützten Fortbildungen konnte bis auf die Ebene der Lernergebnisse der Schüler nachgewiesen werden. Mit Blick auf die gefundenen Zusammenhänge zwischen Vorstellungen zum Lehren und Lernen bei Lehrkräften und Lernfortschritten der Schüler scheint es von besonderer Bedeutung zu sein, die Lehrkräfte darin zu unterstützen, ein Verständnis von naturwissenschaftlichem Lehren und Lernen als Veränderung bereits vorhandener Wissensstrukturen aufzubauen.

5 Transfer der Ergebnisse in die Praxis

Der von der Forschergruppe entwickelte und evaluierte Unterricht zum Thema *Schwimmen und Sinken* aus der MIT-Gruppe wurde inzwischen nach weiteren Evaluationen mit Hilfe von Sponsoren (Müller-Reitz-Stiftung, Deutsche Telekom-Stiftung) in Form einer Klassenkiste veröffentlicht und verbreitet (Möller, 2005). Die Ergebnisse der Repräsentationsstudie wurden in diesen Unterricht integriert. Die von einem Schulbuchverlag herausgegebene Klassenkiste enthält Experimentiermaterialien für 32 Schüler (z.B. Einheitswürfel), Demonstrationsmaterialien (z.B. Metallschiff) wie auch fachliche Informationen, didaktisch-methodische Hinweise, Unterrichtsskizzen, Arbeitsblätter und Stationenkarten. Sie soll die organisatorische Durchführung eines konstruktiv-genetischen Sachunterrichts erleichtern und den Lehrkräften Informationen und Anregungen bieten. Ebenfalls gefördert durch Sponsoren (Deutsche Telekom-Stiftung) konnten vom Seminar Didaktik des Sachunterrichts Multiplikatoren ausgebildet werden, die in allen Bundesländern Fortbildungen zum Thema *Schwimmen und Sinken* durchführten und über die Ergebnisse des Forschungsprojektes berichteten. Das hierfür entwickelte Fortbildungskonzept berücksichtigt die Ergebnisse aus der Lehrerfortbildungsstudie. Der Einsatz der Klassenkisten *Schwimmen und Sinken* und die Wirkungen der zugehörigen Fortbildungen werden zurzeit in einer Studie evaluiert. Klassenkisten sowie Fortbildungskonzepte zu weiteren Themen des Sachunterrichts, wie „Luft und Luftdruck“, „Schall“ und „Elektrizität“ befinden sich in Vorbereitung.

Literatur

- Blumberg, E., Möller, K., Jonen, A. & Hardy, I. (2003). Multikriteriale Zielerreichung im naturwissenschaftsbezogenen Sachunterricht der Grundschule. In D. Cech, & H.-J. Schwier (Hrsg.), *Lernwege und Aneignungsformen im Sachunterricht* (S. 77-92). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Blumberg, E., Möller, K. & Hardy, I. (2004). Erreichen motivationaler und selbstbezogener Zielsetzungen in einem schülerorientierten naturwissenschaftsbezogenen Sachunterricht – Bestehen Unterschiede in Abhängigkeit von der Leistungsstärke? In W. Bos, E.-M. Lankes, N. Plafmeier & K. Schwippert (Hrsg.), *Heterogenität – Eine Herausforderung an die empirische Bildungsforschung* (S. 41-55). Münster: Waxmann.

- Bromme, R. (1997). Kompetenzen, Funktionen und unterrichtliches Handeln des Lehrers. In F.E. Weinert (Hrsg.), *Psychologie des Unterrichts und der Schule* (S. 177-212). Göttingen: Hogrefe. (= Enzyklopädie der Psychologie. D I, Bd. 3)
- Calderhead, J. (1996). Teachers: Beliefs and knowledge. In D.C. Berliner & R.C. Calfee (Eds.), *Handbook of educational psychology* (pp. 709-725). New York: Macmillan.
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22 (9), 1041-1053.
- Collins, A., Brown, J. & Newman, S. (1989). Cognitive apprenticeship: Teaching the crafts of reading, writing, and mathematics. In L. Resnick (Ed.), *Knowing, learning and instruction. Essays in honour of Robert Glaser* (pp. 453-494). Hillsdale: Erlbaum.
- Cox, R. (1999). Representation construction, externalised cognition and individual differences. *Learning and Instruction*, 9, 343-363.
- Davis, E. & Miyake, N. (2004). Explorations of scaffolding in complex classroom systems. *The Journal of the Learning Sciences*, 13 (3), 265-272.
- Diedrich, M., Thußbas, C. & Klieme, E. (2002). Professionelles Lehrerwissen und selbstberichtete Unterrichtspraxis im Fach Mathematik. M. Prenzel & J. Doll (Hrsg.), *Bildungsqualität von Schule: Schulische und außerschulische Bedingungen mathematischer, naturwissenschaftlicher und überfachlicher Kompetenzen* (S. 107-123). Weinheim: Beltz (= Zeitschrift für Pädagogik, 45. Beiheft).
- diSessa, A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10 (2/3), 105-225.
- Duit, R. (1995). Zur Rolle der konstruktivistischen Sichtweise in der naturwissenschafts-didaktischen Lehr- und Lernforschung. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41 (6), 905-923.
- Duit, R. & Treagust, D.F. (1998). Learning in science – From behaviourism towards social constructivism and beyond. In B.J. Fraser & K.G. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education* (pp. 3-26). Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers.
- Einsiedler, W. (2002). Empirische Forschung zum Sachunterricht. Ein Überblick. In K. Spreckelsen, K. Möller & A. Hartinger (Hrsg.), *Ansätze und Methoden empirischer Forschung zum Sachunterricht* (S. 17-38). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Gerstenmaier, J. & Mandl, H. (1995). Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41, 867-887.
- Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (2002). *Perspektivrahmen Sachunterricht*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Gravemeijer, K. (1999). Instructional design for reform in mathematics education. In M. Beihuizen, K. Gravemeijer & E. van Lieshout (Eds.), *The role of contexts and models in the development of mathematical strategies and procedures* (pp. 13-34). Freudenthal Institute, Utrecht: Utrecht CD-beta series on research and mathematics Education.
- Gustafson, B. & Rowell, P. (1995). Elementary preservice teachers: constructing conceptions about learning science, teaching science and the nature of science. *International Journal of Science Education*, 17 (5), 589-605.
- Hardy, I., Jonen, A., Möller, K., & Stern, E. (2004). Die Integration von Repräsentationsformen in den Sachunterricht der Grundschule. In J. Doll & M. Prenzel (Hrsg.), *Bildungsqualität von Schule: Lehrerprofessionalisierung, Unterrichtsentwicklung und Schülerförderung als Strategien der Qualitätsverbesserung* (S. 267-283). Münster: Waxmann.
- Hardy, I., Schneider, M., Jonen, A., Möller, K. & Stern, E. (2005). Fostering Diagrammatic Reasoning in Science Education. *Swiss Journal of Psychology*, 64 (3), 207-217.
- Hardy, I., Jonen, A., Möller, K. & Stern, E. (2006). Effects of Instructional Support Within Constructivist Learning Environments for Elementary School Students' Under-

- standing of "Floating and Sinking". *Journal of Educational Psychology*, 98 (2), 307-326.
- Heran-Dörr, E. (2006). Orientierung an Schülervorstellungen – Wie verstehen Lehrkräfte diesen Appell an ihre didaktische und methodische Kompetenz? In D. Cech, H.-J. Fischer, W. Holl-Giese, M. Knörzer & M. Schrenk (Hrsg.), *Bildungswert des Sachunterrichts* (S. 159-176). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Hogan, K. & Pressley, M. (1997). Scaffolding scientific competencies within classroom communities of inquiry. In K. Hogan & M. Pressley (Eds.), *Scaffolding student learning: Instructional approaches and issues* (pp. 74-107). Louiseville, Quebec: Brookline Books.
- Jonen, A., Möller, K. & Hardy, I. (2003). Lernen als Veränderung von Konzepten – am Beispiel einer Untersuchung zum naturwissenschaftlichen Lernen in der Grundschule. In D. Cech & H.-J. Schwier (Hrsg.), *Lernwege und Aneignungsformen im Sachunterricht* (S. 93-108). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Jonen, A., Hardy, I. & Möller, K. (2003). Schwimmt ein Holzbrett mit Löchern? – Erklärungen von Kindern zum Schwimmen und Sinken verschiedener Gegenstände vor und nach dem Unterricht. In A. Speck-Hamdan, H. Brügelmann, M. Fölling-Albers & S. Richter (Hrsg.), *Kulturelle Vielfalt. Religiöses Lernen. Jahrbuch Grundschule*, 4 (S. 159-164). Seelze: Kallmeyersche Verlagsbuchhandlung.
- Kagan, D.M. (1992). Implications of Research on Teacher Belief. *Educational Psychologist*, 27 (1), 65-90.
- Keys, P. (2005). Are teachers walking the walk or just talking the talk in science education? *Teachers and Teaching: theory and practice*, 11 (5), 499-516.
- Kleickmann, T., Möller, K. & Jonen, A. (2005). Effects of in-service teacher education courses on teachers' pedagogical content knowledge in primary science. In H. Gruber, C. Harteis, R. Mulder & M. Rehl (Eds.), *Bridging Individual, Organisational, and Cultural Aspects of Professional Learning* (pp. 51-58). Regensburg: Roderer.
- Kleickmann, T., Möller, K. & Jonen, A. (in Druck). Die Wirksamkeit von Fortbildungen und die Bedeutung von tutorieller Unterstützung. In R. Hinz & B. Schumacher (Hrsg.), *Jahrbuch Grundschulforschung*.
- Koerber, S. (2003). *Visualisierung als Werkzeug im Mathematik-Unterricht. Der Einfluss externer Repräsentationsformen auf proportionales Denken im Grundschulalter*. Hamburg: Verlag Dr. Kovač.
- Köhnlein, W. (1996). Leitende Prinzipien und Curriculum des Sachunterrichts. In E. Glumpler & S. Wittkowske (Hrsg.), *Sachunterricht heute. Zwischen interdisziplinärem Anspruch und traditionellem Fachbezug* (S. 46-76). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Landwehr, B. (2002). *Distanzen von Lehrkräften und Studierenden des Sachunterrichts zur Physik. Eine qualitativ-empirische Studie zu den Ursachen*. Berlin: Logos.
- Lehrer, R. & Schauble, L. (2000). Inventing data structures for representational purposes: Elementary grade students' classification models. *Mathematical Thinking and Learning*, 2 (1/2), 51-74.
- Levitt, K. (2002). An Analysis of Elementary Teachers' Beliefs Regarding the Teaching and Learning of Science. *Science Education*, 86, 1-22.
- Möller, K. (1999). Konstruktivistisch orientierte Lehr-Lernprozessforschung im naturwissenschaftlich-technischen Bereich des Sachunterrichts. In W. Köhnlein (Hrsg.), *Vielperspektives Denken im Sachunterricht. Forschungen zur Didaktik des Sachunterrichts*, 3 (S. 125-191). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Möller, K. (2002). Anspruchsvolles Lernen in der Grundschule – am Beispiel naturwissenschaftlich-technischer Inhalte. *Pädagogische Rundschau*, 56 (4), 411-435.
- Möller, K. (2004). Naturwissenschaftliches Lernen in der Grundschule – Welche Kompetenzen brauchen Grundschullehrkräfte? In H. Merckens, (Hrsg.), *Lehrerbildung:*

- IGLU und die Folgen. Schriften der Deutschen Gesellschaft für Erziehungswissenschaft* (S. 65-84). Opladen: Leske + Budrich.
- Möller, K. (Hrsg.). (2005). Die KiNT-Boxen – Kinder lernen Naturwissenschaft und Technik. Klassenkisten für den Sachunterricht. In A. Jonen & K. Möller (Hrsg.), *Band 1: Schwimmen und Sinken*. Essen: Spectra-Verlag.
- Möller, K., Jonen, A., Hardy, I. & Stern, E. (2002). Die Förderung von naturwissenschaftlichem Verständnis bei Grundschulkindern durch Strukturierung der Lernumgebung. In M. Prenzel & J. Doll (Hrsg.), *Bildungsqualität von Schule: Schulische und außerschulische Bedingungen mathematischer, naturwissenschaftlicher und überfachlicher Kompetenzen* (S. 176-191). Weinheim: Beltz (= Zeitschrift für Pädagogik, 45. Beiheft).
- Northfield, J., Gunstone, R. & Erickson, G. (1996). A Constructivist Perspective on Science Teacher Education. In D. Treagust, R. Duit & B. Fraser (Eds.), *Improving Teaching and Learning in Science and Mathematics* (pp. 201-211). New York: Teachers College Press.
- Pajares, F. (1992). Teachers' Beliefs and Educational Research: Cleaning Up a Messy Construct. *Review of Educational Research*, 62, 307-332.
- Pea, R. (2004). The social and technological dimensions of scaffolding and related theoretical concepts for learning, education, and human activity. *The Journal of the Learning Sciences*, 13, 423-451.
- Porlán, R. & Martín del Pozo, R. (2004). The conceptions of in-service and prospective primary school teachers about the teaching and learning of science. *Journal of science teacher education*, 15 (1), 39-62.
- Reinmann-Rothmeier G. & Mandl, H. (1999). Instruktion. In C. Perleth & A. Ziegler (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie. Grundlagen und Anwendungsfelder* (S. 207-215). Bern, Göttingen, Toronto, Seattle: Huber.
- Reiser, B. (2004). Scaffolding complex learning: The mechanisms of structuring and problematizing student work. *The Journal of the Learning Sciences*, 13 (3), 273-304.
- Roth, W. & McGinn, M. (1998). Inscriptions: Toward a theory of representing as social practice. *Review of Educational Research*, 68 (1), 35-59.
- Shulman, L.S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Research*, 57 (1), 1-22.
- Smith, C., Carey, S. & Wiser, M. (1985). On differentiation: A case study of the development of the concepts of size, weight, and density. *Cognition*, 21, 177-237.
- Smith, D. & Neale, D. (1991). The construction of subject-matter knowledge in primary science teaching. In J. Brophy (Ed.), *Advances in research on teaching*, Vol. 2 (pp. 187-243). Greenwich: JAI Press.
- Staub, F. & Stern, E. (2002). The Nature of Teachers' Pedagogical Content Beliefs Matters for Students' Achievement Gains: Quasi-Experimental Evidence from Elementary Mathematics. *Journal of Educational Psychology*, 93, 144-155.
- Stipek, D., Givvin, K., Salmon, J. & MacGyvers, V. (2001). Teachers' beliefs and practices related to mathematics instruction. *Teaching and Teacher Education*, 17, 213-226.
- Tabachnik, B.R. & Zeichner, K. (1999). Idea and Action: Action Research and the Development of Conceptual Change Teaching of Science. *Science Education*, 83, 310-322.
- Tytler, R.W. (1994). *Children's explanations in science: A study of conceptual change*. Unpublished doctoral thesis. Melbourne: Monash University.
- van Dijk, I., van Oers, B. & Terwel, J. (2003). Providing or designing? Constructing models in primary maths education. *Learning and Instruction*, 13 (1), 53-72.
- van Driel, J., Beijaard, Douwe & Verloop, Nico (2001). Professional Development and Reform in Science Education: The Role of Teachers' Practical Knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 38, 137-158.

- Vosniadou, S., Ioannides, C., Dimitrakopoulou, A. & Papademetriou, E. (2001). Designing learning environments to promote conceptual change in science. *Learning and Instruction*, 15, 317-419.
- Vygotsky, L. (1978). *Mind and society: The development of higher psychological processes*. Cambridge: Harvard University Press.
- Weinert, F.E. & Helmke, A. (Hrsg.). (1997). *Entwicklung im Grundschulalter*. Weinheim: Beltz.
- Wood, D., Bruner, J. & Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 17, 89-100.