

Kornelia Möller/Angela Jonen/Ilonca Hardy/Elsbeth Stern

Die Förderung von naturwissenschaftlichem Verständnis bei Grundschulkindern durch Strukturierung der Lernumgebung¹

1. Einleitung

1.1 *Naturwissenschaftliches Lernen im Grundschulalter?*

Im Zuge von TIMSS und PISA gerät auch die Grundschule in den Blick. Fördert die Grundschule angemessen die Begabungen unserer Kinder? Könnte eine Förderung schon in der Grundschule späteres naturwissenschaftliches Lernen erleichtern und einem Interessenverfall im Bereich der Naturwissenschaften entgegenwirken?

Manche Pädagogen stehen diesen Fragen kritisch gegenüber, gilt es doch, Bildungsprozesse in der Grundschule vor einer Vereinnahmung durch die weiterführenden Schulen zu schützen. Grundschule sei auf die gegenwärtigen Bedürfnisse und Interessen von Grundschulkindern auszurichten; Sachunterricht habe primär die Aufgabe, zur Klärung der von Kindern erlebten Welt und zu einer in dieser Welt erforderlichen Handlungsfähigkeit beizutragen.

Bereits in den 70er-Jahren forderten Bildungspolitiker und Pädagogen eine stärkere Wissenschaftsorientierung der Grundschule. Auf der Basis neuer lernpsychologischer Erkenntnisse erfolgte die Aufnahme naturwissenschaftlicher Themen in den Kanon des von da an als „Sachunterricht“ bezeichneten Faches. Schon wenige Jahre nach Beginn der Reform setzte allerdings heftige Kritik ein: Die neuen, durch Entwicklungen im Ausland beeinflussten Curricula vernachlässigten kindliche Sichtweisen und Interessen, überforderten die Kinder häufig im Verstehen der Inhalte und trafen zudem auf enorme Implementationsschwierigkeiten (Beck/Claussen 1979; Möller 2001a). Die Folge: Offene, verfahrensorientierte und lebensweltlich akzentuierte Konzeptionen verdrängten naturwissenschaftsbezogene Themen seit Mitte der 70er-Jahre und führten zu einer Vernachlässigung des naturwissenschaftlichen Bereiches, was sich in der geringen Bedeutung entsprechender Themen in Lehrplänen und in der Aus- und Fortbildung von Sachunterrichtslehrkräften widerspiegelt (Strunck/Lück/Demuth 1998).

Seit einiger Zeit, sicher auch als Folge der Ergebnisse der aktuellen Schulleistungsvergleiche und unterstützt durch neuere entwicklungspsychologische Befunde (siehe 1.2), findet die Forderung nach einem frühen Lernen im Vorfeld der Naturwissenschaften wieder verstärkte Aufmerksamkeit. Dabei stellt sich die Frage, wie Unterricht orga-

1 Die berichteten Studien wurden im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms „Bildungsqualität von Schule (BIQUA)“, Az. MO 942/1-1 (Münster) Az. STE 539/9-1 (Berlin) gefördert.

nisiert sein sollte, um motivierendes naturwissenschaftsbezogenes Lernen zu ermöglichen, ohne Grundschul Kinder zu überfordern. In der fachdidaktischen Diskussion kristallisiert sich in der Tradition Martin Wagenscheins ein sog. konstruktiv-genetischer Unterricht als vielversprechend heraus (Thiel 1990; Köhnlein 1999), der auch unter dem Begriff eines konstruktivistisch orientierten, auf verstehendes, kooperatives und problemorientiertes Lernen ausgerichteten Unterrichts diskutiert wird (z.B. Duit/Treagust 1998; Möller 2001b; Gerstenmaier/Mandl 1995; Reinmann-Rothmeier/Mandl 1997). Kerngedanke dieser Ansätze ist die Annahme, dass Wissen nicht ohne kognitive Aktivität der Lernenden erworben werden kann, woraus sich eine notwendige Selbsttätigkeit der Lernenden bei der Konstruktion von Wissen ableiten lässt. Das hohe Maß an Selbststeuerung und Komplexität, das sich hieraus bei anwendungsorientierten Fragestellungen ergibt, birgt für leistungsschwächere Schüler bei anspruchsvollen Inhalten allerdings die Gefahr der Überforderung. Dennoch zeigt sich im Bereich der Grundschulmathematik, dass auch schwächere Kinder von anspruchsvollem Unterricht profitieren können (Staub/Stern 2002; Renkl/Stern 1994).

Für die Lehrkraft stellt sich die Aufgabe, Lernaktivitäten angemessen zu unterstützen. Die Frage nach dem Ausmaß der Strukturierung in einem auf kognitive Selbststeuerung ausgerichteten Unterricht erweist sich dabei als zentral (Möller *inger.*).

1.2 *Naturwissenschaftliches Lernen aus entwicklungs- und lernpsychologischer Sicht*

Eine weitverbreitete, auf die Rezeption des Werkes von Jean Piaget zurückgehende Überzeugung ist, dass sich das Denken von Grundschulkindern auf konkrete Bereiche beschränkt. Nach Piaget vollzieht sich die geistige Entwicklung des Kindes vom Konkreten zum Abstrakten, indem sich inhaltsübergreifende Denkschemata verändern, wobei die konkret operative Phase des Grundschul Kindes durch die Unfähigkeit gekennzeichnet ist, nicht explizit verfügbare Informationen zu erschließen. Die Annahme einer bereichsübergreifenden Veränderung des Denkens und der Informationsverarbeitung gilt jedoch als überholt. Die Befunde zur Inhaltsspezifität der geistigen Entwicklung sind überwältigend (Sodian 1995; Stern 2002). Manche Kinder können in einem Inhaltsgebiet – z.B. in Mathematik – bereits sehr fortgeschrittene geistige Operationen vollziehen, während sie in anderen Inhaltsgebieten bei vergleichbar schwierigen Aufgaben überfordert sind. Generell zeigte sich, dass das Erklärungspotenzial von inhaltsunspezifischen Fähigkeiten wie der allgemeinen Intelligenz geringer ist als das Erklärungspotenzial von inhaltspezifischem Wissen (Stern 2001).

Versteht man kognitive Entwicklung als den Erwerb und die Umstrukturierung von Wissen, ist davon auszugehen, dass eine frühe Konfrontation mit anspruchsvollen Inhaltsgebieten einen Entwicklungsvorsprung verschafft. Dies belegen u.a. Untersuchungen zur Grundschulmathematik (Stern *im Druck*). Unter Wissenserwerb wird hier nicht allein die Akkumulation von Fakten, sondern vielmehr der Erwerb theoriegeleiteter Begriffe und Konzepte verstanden (Carey 1985).

Lernen wird dabei insbesondere in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung als Konzeptwechsel beschrieben (Duit 1999; Duschl/Hamilton 1998). Konzeptwechsel sind das Ergebnis von aktiven Umstrukturierungsprozessen (Vosniadou/Ioannides/Dimitrakopoulou 2001). Sie sind abhängig von den Vorstellungen und Erklärungen, die Schüler in eine Lernsituation einbringen, wie auch von den Eigenschaften der Lernumgebung. Naturwissenschaftliche Phänomene regen Kinder oft spontan zur Bildung von Erklärungen an; viele dieser häufig robusten Vorstellungen sind aber inadäquat oder unvollständig. Ziel einer am konstruktivistischen Lernbegriff orientierten Lehr-Lernumgebung ist es, Kinder auf inadäquate, nicht belastbare Vorstellungen aufmerksam zu machen und ihnen Möglichkeiten zur Konstruktion adäquaterer, qualitativer physikalischer Erklärungen zu bieten (Möller 1999).

In unserem Forschungsprojekt geht es um die Untersuchung einer angemessenen und wirkungsvollen Förderung naturwissenschaftlichen Lernens von Grundschulkindern. Wir konzentrieren uns in unserer Studie auf die Untersuchung konzeptuellen Wissens; das ebenfalls in BIQUA angesiedelte Projekt von Sodian und Kircher untersucht die Förderung von Wissenschaftsverständnis durch unterrichtliche Interventionen in der Grundschule (vgl. Sodian u.a. in diesem Heft).

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

2.1 Konzeptwechsel beim Themenbereich „Schwimmen und Sinken“

Ein in Bezug auf Grundschulkindern kontrovers diskutierter Bereich ist das Themengebiet „Schwimmen und Sinken“ mit den zugrunde liegenden Begriffen „Dichte“ und „Auftriebskraft“ (Smith/Carey/Wiser 1985; Thiel 1990; Janke 1995; Möller 1999; Haru 2000). Nicht adäquate Vorstellungen, wie z.B. die Abhängigkeit der Auftriebskraft von der nach oben „ziehenden“ Luft („die Luft will nach oben“) oder die Abhängigkeit des Schwimmens von der Größe („alles, was groß ist schwimmt“) oder der Masse („alles, was leicht ist, schwimmt“) eines Körpers müssen als nicht belastbar erkannt werden, um ein qualitatives Verständnis von Dichte und Auftriebskraft aufbauen zu können. Besondere Probleme bereitet das für den Dichtebegriff erforderliche proportionale Verständnis. Da Grundschulkindern dazu tendieren, nur eine der beiden relevanten Größen Masse und Volumen in ihren Erklärungen zu berücksichtigen, ist diese Art des konzeptuellen Verständnisses besonders schwierig (Smith u.a. 1997; Möller 1999).

2.2 Optimierung durch Sequenzierung und kognitiv strukturierende Gesprächsführung (Schulstudie)

Aus Forschungen zu unterrichtlichen Bedingungen für Konzeptwechsel (z.B. Scott/Driver 1998; Hewson/Beeth/Thorley 1998; Duschl/Hamilton 1998) ergeben sich Unterrichtsmerkmale wie Erfahrungsorientierung, Selbststeuerung, Anwendungsorientierung

und die Berücksichtigung multipler Perspektiven. Eine zu große Komplexität von Lernsituationen wie auch ein zu großes Ausmaß an Selbststeuerung allerdings kann zu Problemen führen (vgl. Weinert 1982; Weinert 1996; Stark/Gruber/Mandl 1998; Gräsel/Mandl 1993; Renkl 1995). Im Grundschulbereich wird ein häufig geringes Niveau der kognitiven Verarbeitung in stark selbstgesteuerten und wenig strukturierten Lernumgebungen kritisiert (Einsiedler 1978, 1996). Auch die selbstgesteuerte Fokussierung relevanter Merkmale bereitet insbesondere jüngeren Lernenden mit geringem, wenig strukturiertem Vorwissen in einem Inhaltsbereich, für den nur wenige Lernstrategien bereit stehen, Schwierigkeiten. Zu vermuten ist daher, dass ein auf Konzeptwechsel ausgerichteter Unterricht einer Verknüpfung von Instruktion und Konstruktion auf der methodischen Ebene der Unterrichtsgestaltung bedarf, um die erforderliche Balance von Selbststeuerung und Fremdsteuerung sicherzustellen (Friedrich/Mandl 1997; Reinmann-Rothmeier/Mandl 1999; Dubs 1997; Möller 2001b).

Der Schulstudie liegt eine problemorientierte Lernumgebung mit einem hohen Maß an angestrebter kognitiver Eigenaktivität zugrunde, in der die Schüler Konzepte entwickeln, kooperativ überprüfen und kommunikativ aushandeln. Gezielte Strukturierungselemente werden in diesen Prozess eingebettet, um die kognitiven Aktivitäten der Schüler durch Komplexitätsreduktion zu unterstützen. Sie beziehen sich auf eine inhaltliche Sequenzierung einer anwendungsorientierten Fragestellung und auf eine kognitiv strukturierende Gesprächsführung, unter der wir das Aufmerksammachen auf Widersprüche im Denken, das Einfordern von Begründungen und Überprüfungen, das Anregen von Anwendungen, das Fokussieren einzelner Aspekte wie auch das Anregen der Integration von Konzepten verstehen.

2.3 *Optimierung durch externe Repräsentation (Laborstudie)*

Eine weitere Art der Strukturierung stellen externe Repräsentationsformen dar. Diese bieten die Möglichkeit zum Aufbau konzeptuellen Verständnisses, indem einerseits an bereits bestehendes (oft intuitives) Wissen von Lernenden angeknüpft und andererseits die Beachtung relevanter Merkmale unterstützt wird (siehe auch das BIQUA-Projekt Martignon u.a. in diesem Heft). Im Bereich des proportionalen Denkens erlauben Repräsentationsformen, wie z.B. Koordinatensysteme, die Beziehung zwischen zwei Größen als Steigung eines Graphen zu visualisieren, wobei jede der beiden Größen repräsentiert, also auch vom Lerner beachtet werden muss. Die Visualisierung von Strukturen unterstützt den Lernenden bei der bewussten Wahrnehmung relevanter Situationseigenschaften, die zuvor entweder noch nicht beachtet oder nur implizit in den Lösungsprozess integriert wurden (Cox 1999). Das Ausmaß, in dem Repräsentationsformen bestimmte Eigenschaften einer Situation hervorheben, beeinflusst wiederum die Integration dieser Merkmale in ein bereits bestehendes Situationsverständnis und damit die Entwicklung eines tieferen konzeptuellen Verständnisses (Greeno/Smith/Moore 1993; Stern/Hardy/Koerber 2002). Bei der Entwicklung eines konzeptuellen Verständnisses von Schwimmen und Sinken sollte es durch die Nutzung geeigneter Repräsentationsformen möglich

sein, die für das Konzept der Dichte relevanten Situationsmerkmale Masse und Volumen hervorzuheben. Entscheidend ist hierbei, dass die Nutzung von Repräsentationsformen ein konstruktivistisch orientiertes Unterrichten im oben dargelegten Sinne erlaubt. Das bedeutet, dass die Nutzungsweise einer Repräsentationsform möglichst intuitiv verständlich sein sollte, so dass Lernende durch Anknüpfung an ihr Vorwissen ein integriertes Verständnis von Repräsentationsform und repräsentiertem Inhalt aufbauen können. In einer Studie von Koerber (2000) zeigte sich, dass insbesondere die Balkenwaage aufgrund ihrer leichten Interpretierbarkeit von Grundschulkindern erfolgreich für proportionale Vergleiche genutzt werden konnte. In einem Unterricht, der auf die Erklärung von Schwimmen und Sinken ausgerichtet ist, bieten Repräsentationsformen einerseits die Möglichkeit, die Unangemessenheit von Fehlvorstellungen zu erfahren, beispielsweise indem erkenntlich ist, dass die Größe von Gegenständen zusätzlich zu ihrem Gewicht beachtet werden muss. Andererseits wird der Aufbau qualitativer Erklärungen unterstützt, indem das Verhalten von Gegenständen im Wasser durch den Dichtevergleich korrekt vorhergesagt werden kann.

3. Empirische Untersuchungen

In zwei Untersuchungen (Schulstudie und Laborstudie) wurde jeweils an unabhängigen Gruppen die Strukturierung der Lernumgebung variiert. Die Effekte dieser Variationen auf das physikalische Verständnis wurden in Abhängigkeit von den kognitiven Eingangsvoraussetzungen untersucht. Wir erwarten, dass insbesondere Schüler mit ungünstigen Eingangsvoraussetzungen von einem höheren Maß an Strukturierung profitieren.

3.1 Schulstudie

Methode

In einem Messwiederholungsdesign mit zwei Experimentalgruppen und einer nicht trainierten Basisgruppe wurde untersucht, welchen Einfluss Strukturierung in konstruktivistisch orientierten Lehr-Lernumgebungen auf den Erwerb eines Basisverständnisses der physikalischen Konzepte „Dichte“ und „Auftrieb“ in Abhängigkeit von kognitiven Eingangsunterschieden hat.

Unterricht MIT und OHNE Strukturierung: Es wurden zwei konstruktivistisch orientierte Unterrichtseinheiten zum Thema „Wie kommt es, dass ein Schiff schwimmt?“ entwickelt. In der weniger stark strukturierten Einheit (kurz: OHNE) wurde den Kindern eine Lernumgebung in Form eines offenen Materialangebots (Knete, Wasserbecken, Töpfe, Metallboote, Waagen, Holzknöpfe, Metallplatten, Stecknadeln, Kerzen etc.) zur Verfügung gestellt, in der sie ihre Ideen überprüfen und ihre Fragen beantworten konnten. Außerdem gab es ein komplexes Stationenangebot mit Anregungen für Versuche, um

neue Erfahrungen zu ermöglichen und auf Phänomene aufmerksam zu machen. Während der Stationenarbeit gab die Lehrkraft individuelle prozessbezogene Hilfestellungen. Entdeckungen und Probleme wurden in Kleingruppen und in Klassengesprächen präsentiert und diskutiert. Die Kinder bestimmten hierbei weitgehend den Ablauf der Gespräche. In seinem Aufbau ähnelte der Unterricht einem Werkstattangebot. Beide Unterrichtseinheiten erstreckten sich über acht Doppelstunden; eine Doppelstunde fand im Schwimmbad statt.

In der stärker strukturierten Unterrichtseinheit (kurz: MIT) wurde durch eine Sequenzierung nach Teilfragen die Komplexität des Themas verringert. Die Teilfragen (Was schwimmt, was sinkt? Wie kommt es, dass Wachs schwimmt und Metall untergeht? Was passiert mit dem Wasser, wenn man einen Gegenstand hineintaucht? Was macht das Wasser mit den Gegenständen?) wurden, eingebettet in die komplexe Fragestellung: „Wie kommt es, dass ein Schiff schwimmt?“, nacheinander erforscht; die in Stationen- oder Gruppenarbeit angebotenen Materialien, Aufgaben und Versuche beschränkten sich hierbei auf die jeweiligen Teilfragen. Zudem setzte die Lehrkraft in den häufigeren und längeren Klassengesprächen verstärkt kognitiv strukturierende Gesprächshilfen ein, um den aktiven Konzeptaufbau, insbesondere auch Konzeptwechsel, zu fördern. Sie hob z.B. widersprüchliche oder wichtige Aussagen hervor, forderte Begründungen, Überprüfungen und Anwendungen ein, verdeutlichte Erklärungen, gab prozessbezogene Hilfen und wiederholte wichtige Zusammenfassungen.

Teilnehmende Klassen: 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 ohne Unterricht (Basisgruppe). Die Durchführung des Unterrichts erfolgte in drei Wellen von je vier Wochen. Pro Welle wurde in je einer Schule Unterricht MIT und Unterricht OHNE in zwei Parallelklassen je zwei Wochen nacheinander unterrichtet. Die Zuordnung MIT/OHNE erfolgte zufällig. In den Basisklassen wurde ausschließlich die Testbatterie durchgeführt. Der gesamte Unterricht in allen sechs Untersuchungsklassen wurde videographiert.

Screening des Unterrichts: Zur Überprüfung der Einhaltung der Unterschiede zwischen den beiden Unterrichtsdesigns wurden zwei Screeningverfahren angewendet. Die Videoaufnahmen der Unterrichtsstunden wurden von 12 unabhängigen Beobachtern in einem Blind-Verfahren anhand der Kriterien für den Unterricht MIT bzw. OHNE bei 45 von 48 Doppelstunden den Bedingungen richtig zugeordnet.

Um die Variationskriterien Sequenzierung und kognitiv strukturierende Gesprächsführung nachzuweisen, wurde ein Kategoriensystem entwickelt, mit dem 30% der Klassengespräche in einem 10-Sekunden-Takt analysiert wurden; bei der zufälligen Auswahl wurden alle Stunden der Einheiten wie auch alle beteiligten Klassen gleichermaßen berücksichtigt. Die Auswertung der Äußerungen weist auf einen signifikant höheren Anteil von strukturierenden Lehreräußerungen im Unterricht MIT hin. Die Ergebnisse der Screenings lassen auf eine Einhaltung der Gruppenunterschiede schließen.

Erhebungsinstrumente

Test zum Schwimmen und Sinken: Der als Prä-Post-Test eingesetzte, auf der Basis von Pilotstudien entwickelte Test umfasst insgesamt 17 Aufgaben mit 14 Multiple-Choice-Items und drei Items mit offenem Antwortformat. Die Fragen beziehen sich auf typische Präkonzepte von Drittklässlern (nicht belastbare Konzepte wie Gewichtskonzept, Größenkonzept, Formkonzept, Luftkonzept), auf belastbare Konzepte (wie Materialkonzept, Hohlkörperkonzept) und auf qualitative physikalische Konzepte (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. Es ergab sich eine interne Konsistenz von $\alpha = .73$ bei Berechnung von Aufgabensummenwerten, die sowohl die korrekte Ablehnung eines nicht belastbaren Konzeptes (z.B. Luftkonzept, Gewichtskonzept) bepunkteten wie auch die korrekte Annahme von Antworten auf qualitativem Verständnisniveau (Materialkonzept, Hohlkörperkonzept) und explizitem Verständnisniveau (qualitative physikalische Erklärungen mit Dichte und Auftrieb).

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 drei Items mit offenem Antwortformat und 12 Multiple-Choice Items ($\alpha = .60$ bei der Auswertung mit Aufgabensummenwerten).

Kriterienkatalog zur Schülereinschätzung: Die Klassenlehrerinnen schätzten die Kinder vor der Studie in Bezug auf insgesamt 13 Merkmale ein. Auf einer 16-stufigen Notenskala wurde für jedes Kind die Fähigkeit zum „kreativen, selbstständigen und problemlösenden Denken“ erfasst.

Ergebnisse

Test zum Schwimmen und Sinken: Zur Erfassung des Lerngewinns in den Unterrichtsformen MIT und OHNE wurden 2 (Zeit) X 2 (Gruppe) Messwiederholungsanalysen mit den Summenwerten des Tests zum Schwimmen und Sinken durchgeführt. Der Summenwert beinhaltet eine Bepunktung sowohl der korrekt abgelehnten nicht belastbaren Konzepte wie auch der korrekt angenommenen physikalischen Erklärungen bzgl. Dichte und Auftrieb. Tabelle 1 enthält die Mittelwerte und Standardabweichungen der Gruppen MIT, OHNE und der Basisgruppe für Prätest und Posttest. Durch die vorgenommene Bepunktung beim Summenwert ergibt sich eine mittlere Ratewahrscheinlichkeit von 48%, die bei der Interpretation der Mittelwertsunterschiede berücksichtigt werden sollte. Es ergab sich ein signifikanter Zeiteffekt, $F_{(1, 179)} = 339,17$, $p < .001$, $\eta^2 \times 100 = 67$, und eine signifikante Interaktion Zeit x Gruppe, $F_{(2, 179)} = 36,98$, $p < .001$, $\eta^2 \times 100 = 29$, wobei die Gruppe MIT den höchsten Lernzuwachs aufwies. Geplante Kontraste zeigten signifikante Unterschiede zwischen den beiden Experimentalgruppen und der Basisgruppe ($p < .001$) und zwischen der Unterrichtsgruppe MIT und OHNE ($p < .01$). Auch die Basisgruppe verbesserte sich leicht, aber signifikant von Prä- zu Posttest, was v.a. auf die Zunahme richtiger Antworten beim Materialkonzept zurückzuführen

ist und durch Alltagserfahrungen erklärt werden kann, deren Reflexion durch den Test angeregt wurden.

Tab. 1: Mittelwerte (Standardabweichungen) der Unterrichtsgruppen im Summenwert des Prä- und Posttests zum Schwimmen und Sinken.

	Gruppe MIT (N = 71)	Gruppe OHNE (N = 70)	Basisgruppe (N = 41)
Prätest	56,72 (8,35)	56,94 (6,94)	56,88 (8,05)
Posttest	77,04 (11,27)	73,23 (11,14)	61,41 (7,28)

Um insbesondere den Abbau von Fehlkonzepten differenziert zu erfassen, wurde ein Summenwert für alle Antworten auf dem Level nicht belastbarer Konzepte gebildet. Wie erwartet, zeigte sich eine signifikante Abnahme der Fehlkonzepte für beide Experimentalgruppen, nicht aber für die Basisgruppe, wobei die Gruppe MIT signifikant mehr Fehlkonzepte abbaute als die Gruppe OHNE (Hardy u.a. 2001).

Transfertest: In einer univariaten Varianzanalyse mit anschließenden Post-hoc Tests zeigten sich zwischen allen drei Gruppen Unterschiede, $F_{(1, 187)} = 45,61$, $p < .001$, $\eta^2 \times 100 = 33$, mit M (MIT) = 30,80 ($s = 5,45$), M (OHNE) = 28,11 ($s = 5,10$) und M (Basisgruppe) = 22,02 ($s = 3,68$).

Subgruppenanalyse: Eine Analyse von Extremgruppen, die aufgrund von Einschätzungen durch die Lehrkräfte bezüglich „kreativen, selbstständigen, problemlösenden Denkens“ auf einer Skala von 1 bis 16 gebildet wurden, sollte Aufschluss darüber geben, ob Kinder mit besonders günstigen bzw. ungünstigen Leistungsvoraussetzungen unterschiedlich stark von den beiden Unterrichtsformen profitieren. Die Korrelation dieser Einschätzung mit dem Posttestsummenwert beträgt $r_{(144)} = .55$, $p < .01$. Ausgehend von der Verteilung des Lehrerurteils bezüglich problemlösenden Denkens ($M = 9,4$, $s = 2,8$) wurden zwei Extremgruppen an den beiden Enden der Verteilung gebildet. In den Gruppen mit leistungsschwachen und leistungsstarken Kindern sind Mädchen und Jungen zu ähnlichen Anteilen vertreten und alle untersuchten Schulen berücksichtigt. Die Mittelwerte in der Testleistung können Abbildung 1 (S. 184) entnommen werden. Für jede Subgruppe wurden 2 (Zeit) x 2 (Gruppe) Varianzanalysen mit dem Summenwert des Tests zum Schwimmen und Sinken durchgeführt. Für die Gruppe mit ungünstigen Voraussetzungen ergab sich ein signifikanter Zeiteffekt, $F_{(1, 32)} = 93,39$, $p < .001$, und eine signifikante Interaktion Zeit x Gruppe, $F_{(1, 32)} = 12,16$, $p < .001$. Wie in der gesamten Stichprobe lernten auch hier die Kinder der Gruppe MIT mehr als die Kinder der Gruppe OHNE. Im Gegensatz zu dieser Gruppe wurde bei der Gruppe der Kinder mit günstigen Voraussetzungen nur der Zeiteffekt, $F_{(1, 19)} = 199,68$, $p < .001$, nicht jedoch die Interaktion statistisch signifikant. Gemäß unseren Erwartungen profitierten Kinder mit guten Lernvoraussetzungen gleichermaßen von beiden Unterrichtsformen, während der Unterricht MIT insbesondere für leistungsschwächere Kinder von Vorteil war.

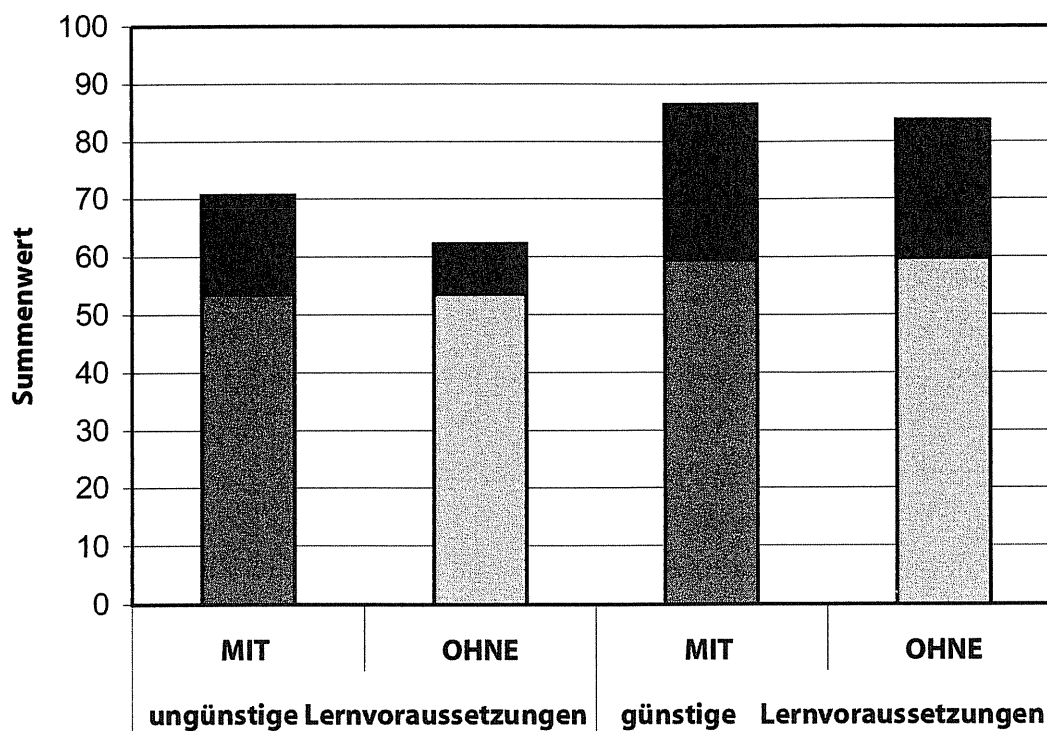


Abb. 1: Prätestwerte (helle Farben) und Posttestwerte (dunkle Farben) im Summenwert des Tests zum Schwimmen und Sinken für Kinder mit günstigen und ungünstigen Lernvoraussetzungen im Unterricht MIT und OHNE.

Erreichtes qualitatives Verständnis: Vergleicht man die im Prä- und Posttest gegebenen schriftlichen, offenen Antworten zu der Frage „Wie kommt es, dass ein schweres Schiff aus Eisen nicht untergeht?“, so zeigt sich, dass nicht belastbare Konzepte wie „Motor“, „Kapitän“, aber auch das Alltagskonzept „Luft“ die Erklärungen in der Präbefragung dominierten. Drei typische Antwortbeispiele der Schüler sind: Kind A: „Auf dem Schiff ist ein Kapiten. Das Schiff trägt schwere sache. Zum beischbil Fische, Öl und Kole“, Kind B: „Weil vielleicht im Schiff Luft drin ist oder weil es bestimmte Motoren hat.“, Kind C: „Vär leich wegen den Luft.“

In der Nachbefragung wird dagegen die entscheidende Rolle des Wassers für die Auftriebskraft betont. Dabei werden Zusammenhänge zwischen der Verdrängung, der Auftriebskraft und dem Schwimmen und Sinken von Gegenständen hergestellt: Kind A: „Das Wasser will auf sein alten Platz zurück, und das Wasser drückt es (das Schiff) nach oben.“, Kind B: „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.“ Dabei ereignen sich auch reflektierte Konzeptwechsel: Kind C: „Das ligt Nicht an der luft, das ligt auch Nicht an das glachgewicht, es ligt an den Wasser.“

Zusammenfassung der Ergebnisse: In unserer Variation eines konstruktivistisch orientierten Unterrichts zum Thema „Wie kommt es, dass ein Schiff schwimmt?“ mit unterschiedlichem Ausmaß an Strukturierung (Gruppe MIT und Gruppe OHNE) zeigten

beide Unterrichtsgruppen einen deutlichen Lerngewinn, wobei ein konstruktivistisch orientierter Unterricht mit inhaltlicher Sequenzierung und kognitiv strukturierender Gesprächsführung einem stärker selbstgesteuerten, komplexeren Werkstattunterricht sowohl im Mittelwertvergleich des Prä-Posttests zum Schwimmen und Sinken als auch im Transfertest signifikant überlegen war. Die Überlegenheit zeigte sich insbesondere im Abbau von Fehlkonzepthen und bei Kindern mit schwächeren Leistungsvoraussetzungen.

3.2 Laborstudie

In der Laborstudie wurde in einem Messwiederholungsdesign mit drei Trainingsgruppen untersucht, welchen unterschiedlichen Einfluss die Nutzung externer Repräsentationsformen (Dichtematrix, Abb. 2; Balkenwaage, Abb. 3) im Vergleich zu einer Kontrollgruppe auf das konzeptuelle Verständnis von „Schwimmen und Sinken“ von Drittklässlern hat.

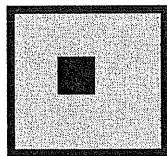
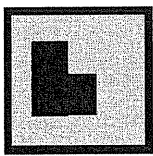


Abb. 2: **Dichtematrix mit Kästchen für Masse und Volumen (graue Quadrate stehen für Volumen, schwarze für Masse; das Ausmaß, in dem die graue Fläche bedeckt ist, repräsentiert die Dichte).**

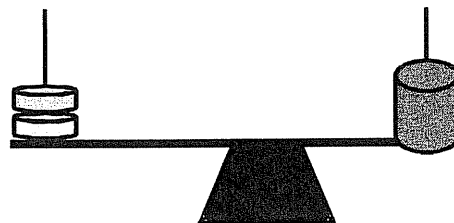


Abb. 3: **Balkenwaage mit Schraubenmutter für Masse und Volumen (hellgraue Gewichte stehen für Masse, dunkelgraue für Volumen; das Ausmaß der Drehpunktverschiebung, das nötig ist, um die Waage in Balance zu halten, repräsentiert die Dichte).**

Wir erwarteten, dass die beiden Gruppen, die mit einer externen Repräsentation arbeiteten, ein tieferes Verständnis der dem Schwimmen und Sinken von Objekten zugrunde liegenden physikalischen Prinzipien erwerben würden als die Kontrollgruppe, die mit einer numerischen Repräsentation arbeitete. Insbesondere war von Interesse, ob die Arbeit mit einer externen Repräsentation auch für Kinder mit schwächeren Eingangsvoraussetzungen von Vorteil sein würde.

Methode

Die Trainings fanden an zwei aufeinander folgenden Nachmittagen statt und dauerten jeweils drei Stunden, inklusive Testzeit. Alle Trainings erforderten ein hohes Maß an Eigenaktivität der Kinder, wobei die Aufgabenabfolge vorab festgelegt war, um in allen Gruppen vergleichbare Trainingsbedingungen zu realisieren. Das Training am ersten Nachmittag zielte auf die Entwicklung des Materialkonzepts ab. Hierzu wurde eine über die Bedingungen konstante Aufgabensequenz durchgeführt, die sich nur in der Anwen-

derung der jeweiligen Repräsentationsform zur Darstellung der Größen Masse und Volumen unterschied.

Im Training am zweiten Nachmittag lernten die Kinder, das von Gegenständen unterschiedlicher Größe verdrängte Wasser zu bestimmen und vorherzusagen, ob ein Gegenstand im Wasser schwimmt oder sinkt. Die hierzu erforderlichen Vergleiche zwischen der Dichte des Wassers und des Gegenstandes erfordern proportionales Denken, das durch die Nutzung der Repräsentationsformen unterstützt wird, welche die zu vergleichenden Verhältnisse abbilden. Wiederum wurde in einer über die Bedingungen konstanten Aufgabenabfolge unterrichtet. Um zu erfassen, ob die Funktionsweise der Repräsentationsformen verstanden wurde, wurden für jede Gruppe Implementationschecks vorgenommen.

Als Prä- und Posttests wurden drei Tests vorgegeben: 1) Ausgewählte Aufgaben aus dem Test zum Schwimmen und Sinken (s. Schulstudie), 2) Aufgaben zum qualitativen Dichteverständnis, 3) Aufgaben zum proportionalen Denken. Versuchspersonen waren 49 Drittklässler (24 Jungen, 25 Mädchen). Diese wurden zufällig einer der drei Trainingsbedingungen mit der Balkenwaage (N = 17), der Matrix (N = 16) oder der Kontrollbedingung mit Zahlen (N = 16) zugewiesen.

Ergebnisse

Zur Analyse des Trainingseffekts der Nutzung unterschiedlicher Repräsentationsformen für das konzeptuelle Verständnis von Schwimmen und Sinken wurden 3 (Gruppe) x 2 (Zeit) Varianzanalysen mit dem Summenwert des Tests zum Schwimmen und Sinken durchgeführt. Als Kovariaten wurden die Prätestwerte des numerischen und qualitativen Proportionalitätstests einbezogen. Dies ergab sich aus der Überlegung, das mathematische Eingangsverständnis der Kinder bezüglich proportionaler Größen werde das Training bzw. den Lernerfolg mit proportionalen Repräsentationsformen je nach Ausgangsleistung unterschiedlich beeinflussen. Tabelle 2 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen für die drei Gruppen im Prätest und Posttest.

	Balkenwaage (N = 17)	Dichtematrix (N = 16)	Kontrollgruppe (N = 16)
Prätest	35,00 (4,43)	36,37 (7,15)	33,25 (4,92)
Posttest	45,76 (6,07)	44,06 (6,20)	40,94 (7,67)

Es ergab sich ein signifikanter Lerngewinn der Kinder aller drei Gruppen, $F_{(1, 46)} = 89,62$, $p < .001$, $\eta^2 \times 100 = 23$, mit einem signifikanten Beitrag der Kovariate Proportionalitätstest ($p < .10$). Die Interaktion zwischen Zeit und Gruppe ist jedoch trotz einer Überlegenheit der Balkenwaagengruppe nicht signifikant.

Bei einer getrennten Analyse bezüglich der Abnahme der im Test angekreuzten Fehlkonzepte zeigte sich, dass die Balkenwaagengruppe im Posttest signifikant weniger Fehlkonzepte

annahme als die Kontrollgruppe, während sich die Matrixgruppe von keiner der beiden Gruppen unterschied.

Subgruppenanalyse: Anhand der Prätestwerte der Tests zum proportionalen Denken und zum qualitativen Dichteverständnis wurden zwei Gruppen von Kindern gebildet, die sich aus Kindern mit günstigen und ungünstigen Lernvoraussetzungen für ein proportionales Dichtetraining zusammensetzten. Das Kriterium zur Gruppenbildung lag bei 50% korrekten Lösungen der Prätestaufgaben. Eine 2 (Zeit) x 3 (Gruppe) x 2 (Subgruppe) Messwiederholungsanalyse ergab einen signifikanten Zeiteffekt, $F_{(1, 43)} = 81,45$, $p < .001$, und eine signifikante Zeit x Gruppe x Subgruppe Interaktion, $F_{(1, 43)} = 4,57$, $p < .05$. Tabelle 3 zeigt Mittelwerte und Standardabweichungen für den Lernzuwachs von Prätest zu Posttest der Gruppen und Subgruppen.

Tab. 3: Mittelwerte (Standardabweichungen) der Trainingssubgruppen im Lernzuwachs beim Summenwert von Prä- und Posttest zum Schwimmen und Sinken.

	Balkenwaage		Dichtematrix		Kontrollgruppe	
	Hoch (N = 7)	Niedrig (N = 10)	Hoch (N = 9)	Niedrig (N = 7)	Hoch (N = 5)	Niedrig (N = 11)
Proportionalitätswerte						
Lernzuwachs Prätest/ Posttest	9,14 (6,28)	11,90 (7,88)	4,11 (5,39)	12,28 (8,42)	12,60 (10,36)	5,45 (4,25)

Obwohl die Zellenbesetzung gering ist und etwas variiert, können aus dieser Analyse interessante Trends abgelesen werden. Während bei der Balkenwaagengruppe Kinder mit hohen und niedrigen Proportionalitätswerten etwa in gleichem Maße vom Training profitierten, gibt es bei Matrixgruppe und Kontrollgruppe signifikante Unterschiede hinsichtlich des Lernzuwachses in den beiden Subgruppen. In der Kontrollgruppe profitierten erwartungsgemäß besonders diejenigen Kinder, die schon vor dem Training ein gutes Proportionalitätsverständnis aufwiesen; die Kinder dieser Subgruppe zeigten jedoch im Matrixtraining einen besonders geringen Lernzuwachs. Im Gegensatz hierzu profitierten in der Matrixbedingung insbesondere die Kinder mit niedrigen Proportionalitätswerten.

Die unterschiedliche Lernentwicklung der beiden Subgruppen in den drei Bedingungen zeigte sich auch in getrennten Varianzanalysen: Kinder mit niedrigen Proportionalitätswerten profitierten signifikant mehr von der Teilnahme an der Balkenwaagenbedingung und Dichtematrixbedingung im Vergleich zur Kontrollbedingung, was beim Vergleich des Lernzuwachses von Prätest zu Posttest ersichtlich wird, $F_{(2, 25)} = 3,13$, $p < .05$. Kinder mit hohen Proportionalitätswerten profitierten gleichermaßen von der Teilnahme am Balkenwaagentraining und dem numerischen Training der Kontrollbedingung, während sie im Dichtematrixtraining weniger profitierten, $F_{(2, 18)} = 2,51$ n.s. In Gruppenvergleichen ergibt sich hier ein signifikanter Unterschied zwischen Dichte-

matrix- und Kontrollbedingung ($p < .05$), während sich die Balkenwaagenbedingung nicht von den anderen beiden Gruppen unterscheidet.

Aus diesen Analysen ist zu erkennen, dass vom Balkenwaagentraining sowohl Kinder mit günstigen und ungünstigen Lernvoraussetzungen im proportionalen Denken profitierten, während das Dichtematrixtraining nur für Kinder mit schlechteren und das Kontrollgruppentraining nur für Kinder mit besseren Werten im Proportionalitätsverständnis erfolgreich war.

Zusammenfassung der Ergebnisse: Es zeigte sich, dass ein relativ kurzes Training in allen drei Gruppen zu einem signifikanten Lernzuwachs bezüglich des Verständnisses von Schwimmen und Sinken führte. Die tendenzielle Überlegenheit der Balkenwaagengruppe im Summenwert des Tests zum Schwimmen und Sinken ist vor allem auf die signifikant häufigere Aufgabe von Fehlkonzepten zurückzuführen. Die Nutzung der Balkenwaage war sowohl für Kinder mit schwächeren als auch mit guten Eingangsvoraussetzungen bezüglich des proportionalen Verständnisses von Vorteil. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass gleichzeitig visuelle und numerische Interpretationen an der Balkenwaage vorgenommen werden konnten, wobei insbesondere die Anwendung des Gleichgewichtsprinzips intuitiv interpretierbar ist.

4. Diskussion der Ergebnisse und Konsequenzen für den Grundschulunterricht

Die Schul- wie auch die Laborstudie zeigen, dass ein konzeptuelles Verständnis von physikalischen Inhalten wie Dichte und Auftrieb schon im Grundschulalter aufgebaut werden kann. In beiden Studien wurde deutlich, dass insbesondere Strukturierungselemente in Lehr-Lernumgebungen den Konzeptwechsel erleichtern, weil sie die Kinder dabei unterstützen, nicht belastbare Präkonzepte aufzugeben.

Strukturierungsangebote erlauben sowohl die Fokussierung relevanter Dimensionen bei der Wahrnehmung und Interpretation von Phänomenen wie auch die direkte Konfrontation (z.B. durch Visualisierung) mit nicht erwarteten Ergebnissen, die zur Aufgabe von nicht adäquaten Erklärungsmustern anregen. Strukturierungselemente schränken somit die zu interpretierende Umwelt so ein, dass neue Erklärungsansätze überzeugend aufgebaut und in ein bestehendes Situationsverständnis integriert werden können. Sie wirken sich insbesondere positiv auf die Förderung leistungsschwächerer Kinder aus.

Die nichtleistungsbezogenen Ergebnisse in der Schulstudie zeigen zudem, dass strukturierte Lernangebote, die zugleich ausgiebig Möglichkeiten zur aktiven Entwicklung und Überprüfung von Konzepten geben, eine multikriteriale Zielerreichung fördern (Hardy u.a. 2001). In einer weiterführenden Studie soll untersucht werden, ob eine Integration externer Repräsentationsformen in einen Unterricht mit inhaltlicher Sequenzierung und kognitiv strukturierender Gesprächsführung zu einer weiteren Optimierung von Lernumgebungen beiträgt.

Wir fühlen uns aufgrund der Untersuchungen in der Annahme bestätigt, dass der Sachunterricht der Grundschule stärker als bisher für ein Lernen im Vorfeld der Physik genutzt werden sollte. Der Unterricht muss Kindern dabei ausreichend Gelegenheit geben, ihre Ideen und Deutungen in Gesprächen zu entwickeln, diese in Experimenten zu überprüfen und Erklärungen zu konstruieren. Auf eigensprachliche Formulierungen ist Wert zu legen, auch wenn diese dem physikalischen Sprachgebrauch noch nicht entsprechen. Als Gegenstand des Unterrichts sollten Phänomene des Alltags gewählt werden, die Grundschul Kinder in Erstaunen versetzen. Über das Anwenden des Gelernten und das Verstehen weiterer Phänomene können Kinder Kompetenz erleben – eine wichtige Voraussetzung für motiviertes Lernen und für eine positive Einschätzung der eigenen, bereichsspezifischen Fähigkeiten. Besonders wichtig ist die Auseinandersetzung mit den vorhandenen Präkonzepten und deren Förderung durch strukturierende Elemente. Ein konzeptwechselorientierter Unterricht braucht Zeit; diese ist nur durch einen exemplarisch angelegten Unterricht zu gewinnen.

Die von den Schülern in einem solchen Unterricht aufgebauten Vorstellungen und Denkweisen wie auch die entwickelte Lernzuversicht und Lernmotivation bieten gute Voraussetzungen für den physikalischen Unterricht in den weiterführenden Schulen. In diesem Sinne kann die Grundschule einen Beitrag zur Förderung des naturwissenschaftlichen Unterrichts leisten, der angesichts der Ergebnisse der PISA-Studie sicherlich wünschenswert ist.

Literatur

- Beck, G./Claussen, C. (1979): Einführung in die Probleme des Sachunterrichts. Kronberg/Ts.: Scriptor.
- Carey, S. (1985): *Conceptual change in childhood*. Cambridge: MIT Press.
- Cox, R. (1999): Representation construction, externalised cognition and individual differences. In: *Learning and Instruction* 9, S. 343–363.
- Dubs, R. (1997): Der Konstruktivismus im Unterricht. In: *Schweizer Schule* 6, S. 26–36.
- Duit, R./Treagust, D.F. (1998): Learning in science – From behaviourism towards social constructivism and beyond. In: Fraser, B.J./Tobin, K.G. (Eds.): *International Handbook of Science Education*. Dordrecht; Boston; London: Kluwer Academic Publishers, S. 3–26.
- Duit, R. (1999): Conceptual change approaches in science education. In: Schnotz, W./Vosniadou, S./Carretero, M. (Eds.): *New Perspectives on conceptual change*. Amsterdam; New York; Oxford: Pergamon, S. 263–282.
- Duschl, R.A./Hamilton, R.J. (1998): Conceptual change in science and in the learning of science. In: Fraser, B.J./Tobin, K.G. (Eds.): *International Handbook of Science Education*. Dordrecht; Boston; London: Kluwer Academic Publishers, S. 1047–1065.
- Einsiedler, W. (1978): Selbststeuerung und Lernhilfen im Unterricht. In: Neber, H./Wagner, A.C./Einsiedler, W. (Hrsg.): *Selbstgesteuertes Lernen. Psychologische und pädagogische Aspekte eines handlungsorientierten Lernens*. Weinheim; Basel: Beltz, S. 192–213.
- Einsiedler, W. (1996): Wissensstrukturierung im Unterricht. Neuere Forschung zur Wissensrepräsentation und ihre Anwendung in der Didaktik. In: *Zeitschrift für Pädagogik* 42, S. 167–192.
- Friedrich, H.F./Mandl, H. (1997): Analyse und Förderung selbstgesteuerten Lernens. In: Weinert, F.E./Mandl, H. (Hrsg.): *Psychologie der Erwachsenenbildung. Enzyklopädie der Psychologie*, Bd. 4. Göttingen: Hogrefe, S. 237–293.

- Gerstenmaier J./Mandl, H. (1995): Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. In: *Zeitschrift für Pädagogik* 41, S. 867–887.
- Gräsel, C./Mandl, H. (1993): Förderung des Erwerbs diagnostischer Strategien in fallbasierten Lernumgebungen. In: *Unterrichtswissenschaft* 21, S. 355–369.
- Greeno, J./Smith, D./Moore, J. (1993): Transfer of situated learning. In: Detterman, D./Sternberg, R. (Eds.): *Transfer on trial: Intelligence, cognition and instruction*. Norwood: Ablex Publishing Company, S. 99–167.
- Hardy, I./Jonen, A./Möller, K./Stern, E./Blumberg, E. (2001): Abschlussbericht BIQUA Projekt Münster/Berlin.
- Haru, S. (2000): *Changes in Children's Conceptions through Social Interaction in Pre-school Science Education*. Joensuu: University of Joensuu (= Publications in Education No: 60)
- Hewson, P.W./Beeth, M.E./Thorley, N.R. (1998): Teaching for conceptual change. In: Fraser, B.J./Tobin, K.G. (Eds.): *International Handbook of Science Education*. Dordrecht; Boston; London: Kluwer Academic Publishers, S. 199–218.
- Janke, B. (1995): Entwicklung naiven Wissens über den physikalischen Auftrieb. Warum schwimmen Schiffe? In: *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie* 27, H. 2, Göttingen: Hogrefe, S. 122–138.
- Köhnlein, W. (1999): Vielperspektivität und Ansatzpunkte naturwissenschaftlichen Denkens. Analysen von Unterrichtsbeispielen unter dem Gesichtspunkt des Verstehens. In: Köhnlein, W./Marquardt-Mau, B./Schreier, H. (Hrsg.): *Vielperspektivisches Denken im Sachunterricht*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, S. 88–124.
- Koerber, S. (2000): *Der Einfluss externer Repräsentationsformen auf proportionales Denken im Grundschulalter*. Dissertation an der Technischen Universität Berlin.
- Möller, K. (1999): Konstruktivistisch orientierte Lehr-Lernprozessforschung im naturwissenschaftlich-technischen Bereich des Sachunterrichts. In: Köhnlein, W. (Hrsg.): *Vielperspektivisches Denken im Sachunterricht*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, S. 125–191 (= *Forschungen zur Didaktik des Sachunterrichts*, Bd. 3).
- Möller, K. (2001a): Lernen im Vorfeld der Naturwissenschaften. Zielsetzungen und Forschungsergebnisse. In: Köhnlein, W./Schreier, H. (Hrsg.): *Innovation Sachunterricht. Befragung der Anfänge nach zukunftsfähigen Beständen*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, S. 275–298 (= *Forschungen zur Didaktik des Sachunterrichts*, Bd. 4).
- Möller, K. (2001b): Konstruktivistische Sichtweisen für das Lernen in der Grundschule? In: Czerwenka, K.; Nölle, K.; Roßbach, H.-G. (Hrsg.): *Jahrbuch Grundschulforschung*, Bd. 4. Opladen: Leske und Buderich, S. 16–31.
- Möller, K. (einger.): Anspruchsvolles Lernen in der Grundschule – am Beispiel naturwissenschaftlich-technischer Inhalte. In: *Pädagogische Rundschau*.
- Reinmann-Rothmeier, G./Mandl, H. (1997): Wissensvermittlung. Ansätze zur Förderung des Wissenserwerbs. In: Birbaumer, N. u.a. (Hrsg.): *Enzyklopädie der Psychologie*, Bd. 6. Göttingen; Bern; Toronto; Seattle: Hogrefe, S. 457–500.
- Reinmann-Rothmeier, G./Mandl, H. (1999): Instruktion. In: Perleth, C./Ziegler, A. (Hrsg.): *Pädagogische Psychologie. Grundlagen und Anwendungsfelder*. Bern; Göttingen; Toronto; Seattle: Huber, S. 207–215.
- Renkl, A./Stern, E. (1994): Die Bedeutung von kognitiven Eingangsvoraussetzungen und Lernaufgaben für das Lösen von einfachen und komplexen Textaufgaben. In: *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* 8, S. 27–39.
- Renkl, A. (1995): Learning for later teaching: An exploration of mediational links between teaching expectancy and learning results. In: *Learning and Instruction* 5, S. 21–36.
- Scott, P.H./Driver, R.H. (1998): Learning about science teaching. Perspectives from an action research project. In: Fraser, B.J./Tobin, K.G. (Eds.): *International Handbook of Science Education*. Dordrecht; Boston; London: Kluwer Academic Publishers, S. 67–80.

- Smith, C./Carey, S./Wiser, M. (1985): On differentiation: A case study of the development of the concepts of size, weight, and density. In: *Cognition* 21, S. 177–237.
- Smith, C./Maclin, D./Grosslight, L./Davis, H. (1997): Teaching for understanding. A study of students' preinstruction theories of matter and a comparison of the effectiveness of two approaches to teaching about matter and density. In: *Cognition and Instruction* 15, S. 317–393.
- Sodian, B. (1995): Entwicklung bereichsspezifischen Wissens. In: Oerter, R./Montada, L. (Hrsg.): *Entwicklungspsychologie*. Weinheim: Psychologie Verlags Union, S. 622–653.
- Stark, R./Gruber, H./Mandl, H. (1998): Motivationale und kognitive Passungsprobleme beim komplexen situierten Lernen. In: *Psychologie in Erziehung und Unterricht* 45, S. 202–215.
- Staub, F./Stern, E. (2002): The nature of teachers' pedagogical content beliefs matters for students' achievement gains. Quasi-experimental evidence from elementary mathematics. In: *The Journal of Educational Psychology* 93, S. 144–155.
- Stern, E. (2001): Intelligenz, Wissen, Transfer und der Umgang mit Symbolsystemen. In: Stern, E./Guthke, J. (Hrsg.): *Perspektiven der Intelligenzforschung*. Lengerich: Pabst Publisher, S. 163–204.
- Stern, E./Hardy, I./Koerber, S. (2002): Die Nutzung grafisch-visueller Repräsentationsformen im Sachunterricht. In: Spreckelsen, K./Hartinger, A./Möller, K. (Hrsg.): *Ansätze und Methoden empirischer Forschung zum Sachunterricht*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt, S. 119–131.
- Stern, E. (2002): Wie abstrakt lernt das Grundschulkind? Neuere Ergebnisse der entwicklungspsychologischen Forschung. In: Petillon, H. (Hrsg.): *Handbuch der Grundschulforschung*, Bd. 5. Leverkusen: Leske und Budrich, S. 22–28.
- Stern, E. (im Druck): Früh übt sich. Neuere Ergebnisse aus der LOGIK-Studie zum Lösen mathematischer Textaufgaben in der Grundschule. In: Fritz, A./Ricken, G./Schmidt, S. (Hrsg.): *Handbuch Rechenschwäche, Lernwege, Schwierigkeiten und Hilfen*. Weinheim: Beltz.
- Strunck, U./Lück, G./Demuth, R. (1998): Der naturwissenschaftliche Sachunterricht in Lehrplänen, Unterrichtsmaterialien und Schulpraxis. Eine quantitative Analyse der Entwicklung in den letzten 25 Jahren. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften. Biologie, Chemie, Physik* 4, H. 1, S. 69–81.
- Thiel, S. (1990): Grundschulkind zwischen Umgangserfahrung und Naturwissenschaft. In: Wagenstein, M.: *Kinder auf dem Weg zur Physik*. Weinheim; Basel: Beltz, S. 90–180.
- Vosniadou, S./Ioannides, C./Dimitrakopoulou, A./Papademetriou, E. (2001): Designing learning environments to promote conceptual change in science. In: *Learning and Instruction* 15, S. 317–419.
- Weinert, F.E. (1982): Selbstgesteuertes Lernen als Voraussetzung, Methode und Ziel des Unterrichts. In: *Unterrichtswissenschaft* 10, S. 99–110.
- Weinert, F.E. (1996): Für und Wider die „neuen Lerntheorien“ als Grundlagen pädagogisch-psychologischer Forschung. In: *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* 10, S. 1–12.

Anschrift der Autorinnen:

Prof. Dr. Kornelia Möller, Seminar für Didaktik des Sachunterrichts, Westfälische-Wilhelms-Universität Münster, Leonardo Campus 11, 48149 Münster.

Angela Jonen, Seminar für Didaktik des Sachunterrichts, Westfälische-Wilhelms-Universität Münster, Leonardo Campus 11, 48149 Münster.

Dr. Ilonca Hardy, Max-Planck-Institut für Bildungsforschung, Lentzeallee 94, 14195 Berlin.

Prof. Dr. Elsbeth Stern, Max-Planck-Institut für Bildungsforschung, Lentzeallee 94, 14195 Berlin.