

Kornelia Möller

Naturwissenschaftliches Lernen – eine (neue) Herausforderung für den Sachunterricht?¹

Naturwissenschaftliches Lernen in der Grundschule: Eine neue Idee?

„Das anspruchsvollere Lernen auf allen Schulstufen ... (ist) gegenwärtig vorherrschende(s) Ziel(e) der Bildungsreform“

„Die Kinder dürfen in ihrer kognitiven Entwicklung nicht zurückgehalten werden“

„Die Anfänge der Naturwissenschaften ... müssen in elementarisierter Form Eingang in den Primarbereich finden“

Aussagen wie diese passen gut in die gegenwärtige Diskussion um eine Implementierung naturwissenschaftlicher Inhalte in die Primarstufe. Politiker, Pädagogen, Psychologen, Fachdidaktiker wie auch Vertreter der Deutschen Industrie sind sich heute überraschend einig, bereits in der Primarstufe, auch schon im Kindergarten, eine naturwissenschaftliche Bildung zu fordern.

Interessanterweise stammen die oben aufgeführten Aussagen aber nicht aus der Gegenwart, sondern aus der Phase der sog. Wissenschaftsorientierung in den 1970er Jahren und zwar aus einem Dokument, das in der damaligen Situation eine paradigmatische Wendung einleitete. Der vom Deutschen Bildungsrat 1970 verfasste „Strukturplan für das Bildungswesen“ (1972) forderte eine grundsätzliche wissenschaftliche Orientierung in der Grundschule und die Aufnahme naturwissenschaftlicher, anspruchsvoller Inhalte.² Eine Durchsicht dieses grundlegenden Textes, die jedem empfohlen sei, zeigt deutlich die nahezu parallelen Forderungen in den 1970er Jahren und heute.³

Auch die wirtschaftlichen, politischen und wissenschaftlichen Hintergründe der damaligen wie der heutigen Situation gleichen sich:

-
- 1 Der vorliegende Beitrag bildete ebenso die Grundlage eines Vortrages im Rahmen einer Ringvorlesung an der Pädagogischen Hochschule Heidelberg im Wintersemester 2005/06.
 - 2 Die oben aufgeführten Zitate stammen aus diesem Dokument. Sie finden sich dort auf den Seiten (in der angegebenen Reihenfolge) 132, 134, 134.
 - 3 Eine Darstellung der wesentlichen Inhalte des Strukturplanes und ein Vergleich der damaligen Forderungen des Strukturplanes mit heutigen pädagogischen Ansätzen wurden in Möller (2001a) vorgenommen.

- Bildungspolitische Überlegungen, insbesondere die Sorge um die nationale Leistungsfähigkeit, waren und sind ein Anstoß für neue Entwicklungen. Damals löste der Sputnikschock eine tiefgreifende Reform des Bildungssystems aus, heute übernimmt der PISA-Schock diese Rolle.
- Heute wie früher spricht man den frühen Bildungsstufen, im Elementar- wie im Primarbereich, ein besonders großes Reformpotenzial zu.
- Einen entscheidenden Anstoß in der damaligen wie in der heutigen Diskussion gaben neue kognitions- und entwicklungspsychologische Befunde zur kognitiven Leistungsfähigkeit von Grundschulkindern. In den 1970er Jahren vermittelte der Band von Heinrich Roth „Begabung und Lernen“ (1969) entscheidende Impulse,⁴ heute sind es entwicklungs- und kognitionspsychologisch ausgerichtete Arbeiten wie z.B. die von Bullock und Ziegler (1999), Carey (1985), Janke (1995), Siegler (1996), Sodian (1995) und Stern (2002).
- Damals wie heute war bzw. ist der politisch-ökonomische Druck groß, über schnelle Reformen eine Verbesserung der als defizitär empfundenen Bildungssituation zu erreichen.
- Die naturwissenschaftliche Bildung spielte in der Reform der 1970er Jahre wie in der heutigen Situation eine besondere Rolle im Maßnahmenbündel.

Was ist aus der damaligen Bildungsinitiative zur Förderung einer frühen naturwissenschaftlichen Bildung geworden? Schon einige Jahre nach Aufkommen der neuen Ansätze wurden diese wegen der Vernachlässigung kindlicher Denkweisen, wegen kognitiver Überforderung der Kinder und wegen einer unzureichenden Berücksichtigung kindlicher Interessen heftig kritisiert. „Grundschulkinder lernen nicht, die naturwissenschaftlichen Fachbegriffe zu verstehen, sondern bestenfalls Wörter, die für sie stehen, assoziativ und grammatisch korrekt zu gebrauchen“, so fasste Lauterbach (1992, 205) die Kritik an entsprechenden Curricula aus den 1970er Jahren zusammen. Ein Beispiel zum Thema „Schwimmen und Sinken“ vermag diese Kritik plausibel zu machen: „Vollkörper, die leichter sind als die gleiche Raummenge Wasser, schwimmen; Vollkörper, die schwerer sind als die gleiche Raummenge Wasser, sinken. Hohlkörper schwimmen auch dann auf dem Wasser, wenn sie aus einem Material bestehen, das schwerer ist als die gleiche Raummenge Wasser“ – mit diesem Merksatz wurden die Ergebnisse einer Unterrichtseinheit für dritte Klassen zusammengefasst (Leicht 1973). Bei einer Evaluation dieses Curriculums stellte Klewitz (1989, 88) fest: Die Hälfte der Kinder zeigte keine eindeutige Beeinflussung ihrer Erklärungen durch den Unterricht; nur ein kleiner Teil der Schüler konnte Merksätze korrekt wiedergeben und auch anwenden.

Insgesamt lässt sich zusammenfassen: Die auch aus heutiger Sicht immer noch „fortschrittlichen“ Anregungen des Deutschen Bildungsrates erreichten die Schulwirklichkeit nicht. Gerade im Bereich des naturwissenschaftlichen Lernens wurde zu viel, zu früh und zu oberflächlich naturwissenschaftliches Wissen „vermittelt“ –

4 Der Strukturplan des deutschen Bildungsrates nennt dieses Werk im Vorwort als entscheidende Grundlage der Überlegungen (S. 15).

wirkliches Verstehen wurde dabei nicht erreicht. Schwartz (1977, 13) fasst die Kritik zusammen: Der *wissenschaftsorientierte* Unterricht hatte sich in vielen Köpfen zu einem *wissenschaftsbestimmten* Sachunterricht entwickelt, „der vornehmlich als Vorgriff auf die Systematik der alten Schulfächer in der Sekundarstufe I gesehen und gründlich missverstanden wurde. Die sich daraus ergebende Addition der Fächer ... führte zu ... Stofffülle ..., zu Überforderung und zu einem bisher nicht bekannten Leistungsdruck.“

Angeregt durch englische Curricula, verbreiteten sich aufgrund dieser Kritik, grundschulpädagogischen Zielsetzungen entsprechend, eher sog. offene, schülerorientierte Ansätze. In England selbst allerdings wurden diese Ansätze bereits zu Ende der 1980er Jahre durch die Einführung eines bis heute bestehenden „National Curriculums“ wegen ihrer starken Unverbindlichkeit in Zielen und Inhalten und der damit verbundenen mangelnden Anschlussfähigkeit des erworbenen Wissens revisiert. Die deutsche Diskussion war dagegen bis in die 1980er Jahre hinein durch heftige Auseinandersetzungen zwischen Befürwortern der offenen, schülerorientierten Ansätze und Befürwortern der geschlossenen, lernzielorientierten Ansätze gekennzeichnet. Trotz vieler Versuche, zwischen diesen beiden Polen zu vermitteln und Synthesemodelle zu schaffen, endete die Auseinandersetzung mit einem Zurückweichen naturwissenschaftlicher Inhalte aus der unbelebten Natur zugunsten biologischer und gesellschaftswissenschaftlicher Themen in den Lehrplänen Deutschlands. Gegen Ende der 1990er Jahre waren die Inhalte aus den Bereichen Physik, Chemie und Technik an den Rand des Sachunterrichtscurriculums geraten, wie die folgende Abbildung zeigt.

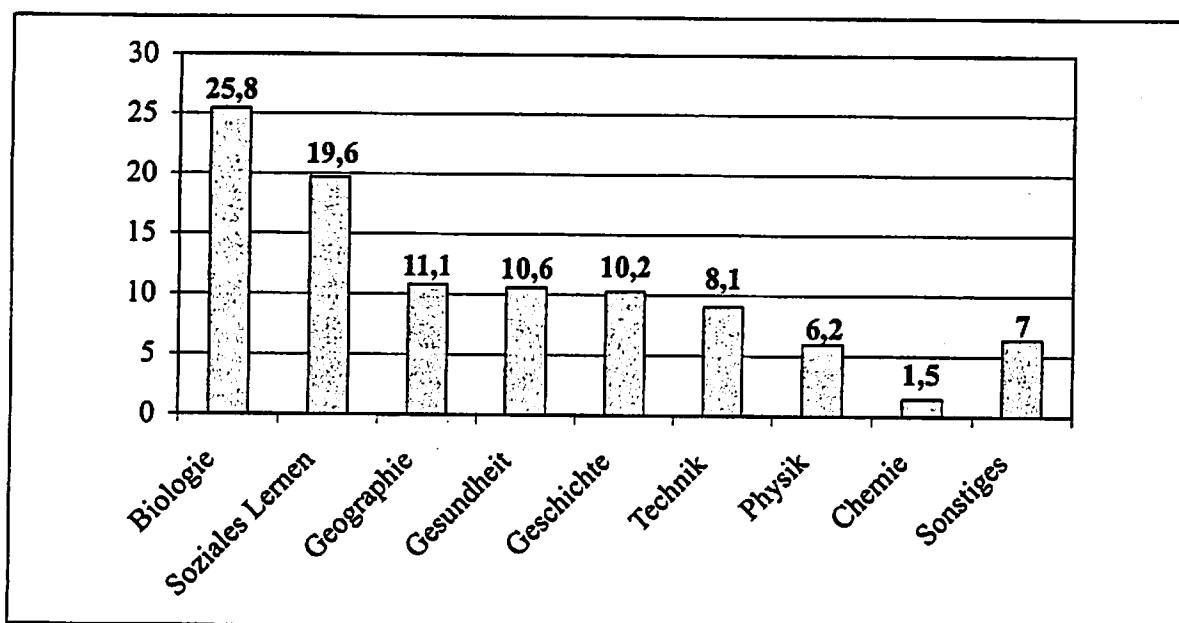


Abbildung 1: Prozentuale Häufigkeit fachlicher Themen in 16 deutschen Lehrplänen (3./4. Klasse) aus dem Jahre 1998 (nach Einsiedler 2002)

Festzuhalten bleibt: Die naturwissenschaftsorientierten, durch amerikanische Konzeptionen beeinflussten, lernzielorientierten Curricula der ersten Generation gaben der Entwicklung des naturwissenschaftlich-technischen Lernbereichs wichtige Im-

pulse, konnten aber die pädagogischen Ansprüche an Bildungsprozesse letztlich nicht erfüllen. Bei den sog. offenen Konzeptionen blieb die mangelnde Zielerreicherung im kognitiven Bereich ein wesentlicher Kritikpunkt. Eine Vereinbarkeit von kognitiven und motivationalen Zielsetzungen wurde in der Anfangsphase der Reform des naturwissenschaftlichen Grundschulunterrichts weder von den sog. geschlossenen noch von den sog. offenen Konzeptionen verwirklicht.

Wo stehen wir heute? Inzwischen wird auf der Grundlage neuerer Erkenntnisse aus der Entwicklungs- und Lernpsychologie (Stern/Möller 2004), als Reaktion auf das schlechte Abschneiden vieler Länder in den internationalen Leistungsstudien und auf dem Hintergrund eines verbreiteten Mangels an Experten in den Bereichen Naturwissenschaften und Technik weltweit wieder die Intensivierung des naturwissenschaftlich-technischen Lernbereiches in der Grundschule und im vorschulischen Bereich gefordert. Steht uns also eine „neue“ Phase der Wissenschaftsorientierung in den frühen Bildungsphasen bevor? Die Frage ist eindeutig zu beantworten: Der Perspektivrahmen der Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (2002) weist den naturwissenschaftlichen und den technischen Bereich des Sachunterrichts als gesonderte Perspektiven aus, fast alle Bundesländer haben den Anteil naturwissenschaftlicher und technischer Inhalte in den Grundschul-Lehrplänen inzwischen erhöht, in Bildungsplänen für die vorschulische Erziehung spielt der naturwissenschaftlich-technische Bereich eine große Rolle und die Anzahl öffentlicher wie auch privat initierter Projekte, die sich auf die Implementierung naturwissenschaftlicher und technischer Inhalte in die frühen Phasen unseres Bildungssystems richten, verzeichnet in den letzten Jahren einen deutlichen Anstieg. Dabei handelt es sich nicht um einen deutschlandspezifischen Trend: Die Europäische Union hat die Förderung frühen naturwissenschaftlichen Lernens zu einem Hauptziel erklärt, und das frühe naturwissenschaftliche Lernen ist heute (wieder) Thema in nahezu allen Industriestaaten wie auch in vielen Entwicklungsländern.

In dieser Situation sollten wir aufmerksam die Gründe für das Scheitern der ersten Initiative aus den 1970er Jahren reflektieren, um zu vermeiden, dass Fehler aus der Anfangsphase der Implementierung wiederholt werden. Ansonsten könnte vielleicht schon in einigen Jahren auch diese zweite Welle zur Implementierung naturwissenschaftlicher Inhalte wieder vor einem Abbruch stehen. Leitend sollte dabei die dem Perspektivrahmen der Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts zugrunde liegende Idee sein, dass die Ansprüche der Wissenschaft wie auch die Ansprüche des lernenden Kindes miteinander zu verknüpfen sind.

Unser Ansatz heute: Multikriteriale Zielerreichung im naturwissenschaftlichen Sachunterricht

Hinsichtlich der zu verfolgenden Ziele für das frühe naturwissenschaftliche Lernen besteht heute international weitgehende Einigkeit:⁵ Vorrangiges Ziel einer grundlegenden naturwissenschaftlichen Bildung ist nicht die Vermittlung systematisch

5 Vgl. z.B. die Ausführungen von Karen Worth (2005)

organisierten Wissens, etwa mit der Absicht, möglichst viel Wissen für weiterführendes Lernen zur Verfügung zu stellen. Es geht vielmehr darum, dass Kinder

- Interesse und Freude am Nachdenken über Phänomene aus Natur und Technik empfinden und daran interessiert sind, naturwissenschaftliche und technische Fragen und Probleme zu ergründen
- Selbstvertrauen entwickeln, etwas herausfinden und verstehen zu können
- Bereitschaft und Freude entwickeln, sich auf forschendes Denken einzulassen und Herausforderungen im Denken anzunehmen („science is hard fun“)
- Fähigkeit entwickeln, über naturwissenschaftlich-technische Fragen zu kommunizieren
- beginnen, ein Verständnis von Wissenschaft und wissenschaftlichem Arbeiten (nature of science) aufzubauen und entsprechende Verfahren (wie das Experimentieren) zu erlernen
- ein konzeptuelles Basiswissen erwerben, das sie zum Vorhersagen und Erklären von Phänomenen nutzen können.

Zusammengefasst sollten Grundschulkinder vor dem Übergang in die weiterführenden Schulen einiges Basiswissen und wichtige naturwissenschaftliche Verfahren erlernt, ein erstes Wissen über das Wesen der Naturwissenschaften erworben, Haltungen und Interessen gegenüber Naturwissenschaften und Technik ausgebildet und Selbstvertrauen im Hinblick auf naturwissenschaftliches und technisches Lernen entwickelt haben. Während es im internationalen Diskurs allenfalls Unterschiede in der Wertigkeit der angesprochenen Ziele gibt, sieht es anders aus, wenn wir uns die Realisierung eines entsprechenden Unterrichts anschauen. Reicht es, Schülern auf Experimentierkarten den Aufbau eines Experimentes vorzugeben, sie zur Durchführung aufzufordern, während die Erklärung des Experiments dann von der Lehrkraft oder vom Buch geliefert wird? Haben Schülerinnen und Schüler auf diesem Weg verstandenes und anwendungsfähiges Wissen aufbauen können? Erzeugt ein solcher Unterricht wirklich Interesse an naturwissenschaftlichen Fragen, oder lediglich Freude am Hantieren mit Gegenständen? Für die Praxis existiert eine Fülle von Materialien, die ein handlungsintensives Experimentieren in Kindergarten und Grundschule ermöglichen. Ob auf diesem Weg ein verstandenes und anwendungsfähiges Wissen sowie naturwissenschaftliche Arbeitsweisen erlernt und reflektiert werden können, muss allerdings bei vielen der vorliegenden Vorschläge bezweifelt werden.

Die oben genannten Zielsetzungen sind multikriterial, d.h. die Zielsetzungen verknüpfen konzeptuelle, verfahrensbezogene, metakognitive, motivationale und selbstbezogene Zielbereiche. Aus vielen Untersuchungen, z.B. aus Ergebnissen der Münchner Grundschulstudie von Weinert und Helmke (1997), wissen wir, wie schwierig eine Vereinbarung solch unterschiedlicher Zielbereiche ist. Die zentrale Frage muss deshalb lauten: Wie sollten Lernumgebungen gestaltet werden, damit Kinder einerseits Interessen und Selbstvertrauen entwickeln und andererseits naturwissenschaftlich-technisches Verständnis erwerben und entsprechende Arbeitsweisen erlernen können? Beide Lernzielbereiche stehen dabei in einer engen Wechselwirkung. Auf der einen Seite bilden Interesse und Selbstvertrauen eine

Grundvoraussetzung für nachhaltige Lernprozesse, die über kurzfristiges Memorieren hinausgehen. Auf der anderen Seite gilt: Ohne gründliches Verstehen und kognitives Durchdringen des Gelernten kann kein Erleben von Kompetenz, also auch kein Selbstvertrauen aufgebaut werden; auch eine nachhaltige Förderung von Interesse ist auf Verstehen und Kompetenzerleben angewiesen.

Wie sollen naturwissenschaftliche Lernumgebungen gestaltet werden?

Unter Wissenserwerb wird hier nicht allein die Akkumulation von Fakten, sondern vielmehr der Erwerb theoriegeleiteter Begriffe und Konzepte verstanden (Carey 1985). Das Erlernen solcher Konzepte wird insbesondere in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung als „Conceptual Change“ beschrieben, da der Aufbau naturwissenschaftlicher Konzepte schon vorhandenen Vorstellungen häufig entgegen steht und Veränderungen von sog. Prä- oder Alltagskonzepten erfordert (Duit 1999, Duschl/Hamilton 1998). Deshalb sind aktive Umstrukturierungsprozesse notwendig, um die erforderlichen Konzeptveränderungen herbei zu führen (Vosniadou/Ioannides/Dimitrakopoulou 2001). Naturwissenschaftliche Phänomene regen Kinder oft spontan zur Bildung von Erklärungen an; viele dieser häufig robusten Vorstellungen sind aber inadäquat oder unvollständig. Ziel ist es, Kinder auf inadäquate, nicht belastbare Vorstellungen aufmerksam zu machen und ihnen Möglichkeiten zur Konstruktion adäquaterer, physikalischer Erklärungen zu bieten. Das konzeptuelle Verständnis ist dabei sicherlich von den quantifizierbaren Begriffen des Fachwissenschaftlers noch weit entfernt; Ziel ist es jedoch, ein qualitatives, physikalisch angemessenes Verständnis aufzubauen (vgl. ausführlicher Möller 1999 und Möller et al. 2002).

In der fachdidaktischen Diskussion kristallisiert sich in der Tradition Martin Wagenscheins ein sog. konstruktiv-genetischer Unterricht als Conceptual Change-fördernd heraus (Köhlein 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).

Lerntheoretisch liegen diesen Ansätzen 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 problemhafte Lernsituationen die Anwendbarkeit des erworbenen Wissens fördern. (Gerstenmaier/Mandl 1995)

Das hohe Maß an Selbststeuerung und Komplexität, das sich hieraus bei anwendungsorientierten Fragestellungen ergibt, birgt insbesondere für jüngere, leistungsschwächere Schüler und bei anspruchsvollen Inhalten allerdings die Gefahr der

Überforderung. Es ist deshalb wichtig, Unterricht in der „Zone der nächsten Entwicklung“ der Lernenden zu gestalten (Vygotsky 1978), und eine angemessene Unterstützung zur Verfügung zu stellen. In den 1970er Jahren sprach man in der angelsächsischen Literatur von „guided discovery“, heute sprechen wir von notwendigen Strukturierungselementen in einem konstruktivistisch orientierten Unterricht bzw. von „scaffolding“ (Mayer 2004; Möller 2001b). Im einzelnen geht es dabei um eine sinnvolle Sequenzierung der anwendungsbezogenen und komplexen Inhalte, um eine unterstützende Gesprächsführung sowie um den gezielten Einsatz von Lernhilfen, die das gezielte Überprüfen von vorhandenen Präkonzepten und das Aufbauen angemessener Konzepte fördern.

Strukturierende Maßnahmen in einem konstruktiv-genetischen Unterricht dienen dabei nicht dem Vermitteln von Erklärungen, sondern der Unterstützung der Lernenden beim Umstrukturieren des Vor-Wissens und beim Aufbau adäquaten Wissens. Lernumgebungen, die auf dieser Basis entwickelt werden, sollen trüges Wissen vermeiden, Verstehen fördern, das Einbringen und Entwickeln von Interessen ermöglichen und Möglichkeiten zum Erleben von Kompetenz bieten.

Folgende Merkmale kennzeichnen solche konstruktiv-genetischen Lernumgebungen, die auf konstruktivistisch orientierten Sichtweisen zum Wissenserwerb basieren:

- Die Lernenden sind aktiv am Lernprozess beteiligt, z.B. durch motivierende Fragestellungen, 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.

Eine Studie zur Wirksamkeit von konstruktivistisch orientiertem, naturwissenschaftlichem Sachunterricht

Wie erfolgreich solche Lernumgebungen im Hinblick auf motivationale und kognitive Zielbereiche sind, untersuchten wir in einem Projekt zum Aufbau physikalischer Basiskonzepte, das im DFG-Schwerpunktprogramm BIQUA angesiedelt ist und in Kooperation mit Elsbeth Stern durchgeführt wurde. Zusätzlich stellten wir uns die Frage, welchen Einfluss strukturierende Merkmale in einer konstruktivistisch orientierten Lernsituation haben.

Es wurden zwei Unterrichtsreihen zum Thema „Wie kommt es, dass ein großes Schiff aus Metall nicht untergeht?“ für dritte Klassen entwickelt, die jeweils acht

Doppelstunden umfassen. In beiden Reihen wurden dieselben Materialien bereitgestellt sowie weitestgehend die gleichen Arbeitsblätter und Arbeitsaufträge eingesetzt. Die Unterrichtsformen unterschieden sich allerdings im Grad der Strukturierung. Die Gruppe, die einen strukturierteren Unterricht erhielt (MIT), erarbeitete das Konzept sequenziert in Teilfragen, die zwar nicht kleinschrittig und losgelöst von dem komplexen Problem erarbeitet werden sollten, aber zu einem schrittweisen Aufbau adäquater Vorstellungen führen sollten. Zu allen Teilespekten gab es sowohl stark strukturierte Aufgabenstellungen und vorgegebene Versuche als auch ein offenes Materialangebot. Das Lernangebot konnte in Gruppenarbeit oder an Stationen bearbeitet werden.

Den Kindern der anderen Gruppe, die einen Unterricht mit einem geringeren Grad der Strukturierung erhielten (OHNE⁶), standen während der gesamten Zeit die Materialien und Versuche zu allen Teilespekten zur Verfügung. Im inhaltlichen Bereich war hier die Wahlmöglichkeit größer. Die Kinder konnten Teilespekte 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. In der vierten Doppelstunde besuchten auch diese Klassen das Schwimmbad. Die Selbstkontrolle war in beiden Gruppen anhand der Anwendung neuer Konzepte in vielfältigen Situationen sowie in der Diskussion möglich. Die Wahl der Partner (Einzel-, Partner- oder Gruppenarbeit) sowie die Wahl der Arbeitszeit an den Stationen und dem offenen Materialangebot waren in beiden Gruppen frei.

Neben der Sequenzierung wurden auch die Klassengespräche variiert. Sie nahmen in der Gruppe mit stärkerer Strukturierung einen größeren Raum ein. Die Lehrerin achtete zudem in der Gruppe mit stärkerer Strukturierung darauf, dass das Gespräch nicht zwischen unterschiedlichsten Aspekten hin und her sprang, um die Sequenzierung auch hier einzuhalten. Sie gab häufiger als in der OHNE-Gruppe 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.

In der OHNE-Gruppe bestimmten die Kinder 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 Vergleiche, Begründungen, Präsentationen und das Hinterfragen heraus und fasste wesentlich seltener als in MIT den Stand der Schülererkenntnisse zusammen. Die Kinder erhielten allerdings individuelle Rückmeldungen von der Lehrperson in ihren Forschermappen.

Insgesamt entsprach der Unterricht in der Gruppe OHNE in etwa einem Werkstattunterricht, wie er in vielen Grundschulklassen verbreitet ist, während der

⁶ Die Bezeichnung OHNE wurde als Abkürzung gewählt. „OHNE“ bedeutet, dass der Unterricht in dieser Gruppe mit geringerer Strukturierung, dennoch aber als konstruktiv-genetischer Unterricht geplant wurde.

Unterricht in der MIT-Gruppe eher an einem genetisch orientierten Unterricht mit unterstützender, sokratischer Gesprächsführung durch die Lehrkraft orientiert war.

Mit Hilfe einer Videoaufzeichnung und einer anschließenden Videoauswertung wurde nachgewiesen, dass der Unterricht in den beiden Klassen den genannten Merkmalen entsprach.

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

Das genaue Design der Untersuchung und das Ergebnis des Screenings im Hinblick auf die Frage, ob die beschriebene Variation auch tatsächlich realisiert wurde, sind bereits an anderer Stelle veröffentlicht (vgl. Jonen et al 2003; Möller et al. 2002).

Der Unterricht zur Frage „Wie kommt es, dass ein großes Schiff aus Metall nicht untergeht?“⁷

Der Unterricht enthielt die folgenden Teilaspekte, die hier in der Reihenfolge beschrieben werden, wie sie im MIT-Unterricht 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.⁸ Hier einige typische Antworten der Kinder:

- Vär leich wegen den Luft
- Wegen der vorm (Form)
- Weil das Flach ist und aus Eisen gemacht ist!
- Auf dem Schiff ist ein Kapiten. Das Schiff tragt schwere sache. Zum beischbil Fische, Öl und Kole
- Weil Störopor in das Schiff gelegt wirt und viel Luft ist.
- So ein Schiff hat einen Motor und der Motor treibt das Schiff.
- Weil in dem Schiff ganz viel Luft ist, und Luft schwimmt.
- Weil vielleicht im Schiff Luft drin ist oder weil es bestimmte Motoren hat.

Auffällig ist die häufige 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,

7 Eine aufgrund von weiteren Evaluationen leicht veränderte Fassung dieses Unterrichts ist im Spectra-Verlag veröffentlicht worden. Hier werden die Schritte des Unterrichts genau beschrieben, Stationenkarten und Arbeitsblätter zur Verfügung gestellt sowie die erforderlichen Materialien in einer Klassenkiste für 32 Kinder angeboten. (Möller 2005)

8 Wir fragen nicht, warum das große Schiff schwimmt, sondern, warum es nicht untergeht, weil wir in unseren Untersuchungen festgestellt haben, dass die Kinder mit Schwimmen – analog zu ihrer eigenen Erfahrung – das nach vorne Bewegen, also den Vortrieb im Wasser, verstehen. Insofern ist die Antwort, „der Motor macht das“, nicht falsch. Im Englischen wird zwischen swimming, floating and sinking unterschieden, wodurch die genannte Zweideutigkeit ausgeschlossen werden kann.

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.⁹ Vollkörper sind Körper, die keine Einwölbung haben, in die also kein Wasser gefüllt werden kann. Die Kinder stellen zunächst Vermutungen zu verschiedenen Gegenständen an, überprüfen diese anschließend im Versuch (s. Abb. 2) 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 (Abb. 2). 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 Holzklotz nach oben steigt, wird ebenfalls häufig nicht vorher gesehen. 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 auch, dass gleiche Gegenstände aus verschiedenen Materialien (z.B. Messer aus Holz, Messer aus Plastik) sich unterschiedlich verhalten.



Abbildung 2: Kinder überprüfen ihre Vermutungen bei Vollkörpern mit Löchern

9 Wir formulieren die Frage in der genannten Art, weil ansonsten die Oberflächenspannung bei einigen Gegenständen, wie z.B. bei der Stecknadel und bei der dünnen Metallplatte, das Ergebnis verfälschen würde. Der Einfluss der Oberflächenspannung kann in einem gesonderten Unterricht thematisiert werden.

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 sog. „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 im Schwimmbad *vor* dem Ausprobieren, dass dieser untergeht, weil er so schwer ist. Dieses Beispiel zeigt, dass der Aufbau neuer, adäquater 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. Ein Schüler formuliert deshalb als neue Erkenntnis: Deutsches Holz schwimmt.

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

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 Wasser und stellen fest: Alle Würfel, die mehr wiegen

als gleichviel Wasser, gehen im Wasser unter, alle Würfel, die weniger wiegen als gleichviel Wasser, steigen nach oben. Für seine „Größe“, so formulieren die Kinder, ist Eisen schwerer als gleichviel Wasser, deshalb geht es unter. Anhand einiger Knobelaufgaben wird das neu erworbene Wissen gefestigt: Zum Beispiel sagen die Kinder 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, die alles nach unten fallen lässt 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.

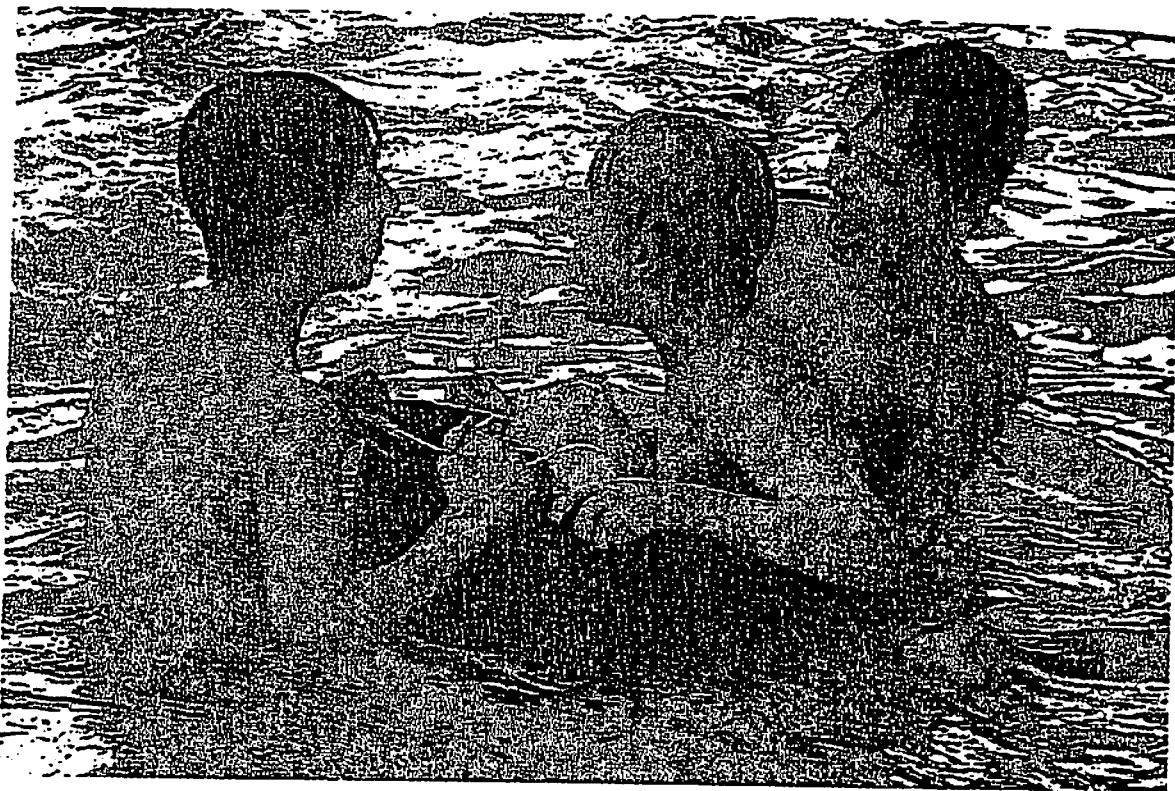


Abbildung 3: Das Wasser drückt so stark, dass der Bottich mit Kind nicht untergeht.

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 wird 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, umso mehr kann das Knetschiff laden. Ein Vergleich mit unterschiedlich großen Metalltöpfen zeigt: Je größer der Topf ist, umso 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 Erdanziehungskraft stärker 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 gleichviel Wasser. Je mehr Wasser das Schiff verdrängt, umso 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 sicherlich dem mancher Erwachsener überlegen ist. Dass es sich hierbei nicht um auswendig gelernte Sätze handelt, beweist die Verschiedenartigkeit der Erklärungen, die nach dem Unterricht abgegeben werden (Tabelle 1). Deutlich zeigt die Gegenüberstellung, dass die Kinder individuell unterschiedliche Konzeptveränderungen vollzogen haben und dass einige Kinder eher eine Erklärung über die Dichte bevor-

Tabelle 1: 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.

zugen, andere Kinder lieber mit den Kräften argumentieren. 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 adäquaten 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, beweisen sie beim Lösen von Knobelaufgaben: Sie erklären, warum Fische durch Vergrößern ihrer Schwimmblase im Wasser nach oben steigen können, warum wir bei tiefem Luftholen ebenfalls im Wasser nach oben treiben, warum wir in Salzwasser besser schwimmen können, warum ein frisches Ei zwar in normalem Wasser untergeht, in Salzwasser aber nicht, warum eine auf den Boden gepresste, ansonsten schwimmende Plastikkarte, nicht nach oben steigt. Auch hier präferieren einige Kinder die Erklärung über den Auftrieb, andere die über die Dichte: Weil wir uns größer machen im Wasser, brauchen wir mehr Platz, drängen dadurch mehr Wasser weg und deshalb drückt uns das Wasser stärker nach oben – wenn wir uns größer machen, werden wir für unsere Größe leichter und deshalb drückt uns das Wasser besser nach oben. Interessanterweise kann der Versuch mit der Plastikkarte nur über den Auftrieb erklärt werden: Da unter der Plastikkarte kein Wasser ist, kann das Wasser die Karte nicht nach oben drücken!¹⁰

Was hat der Unterricht bewirkt?

Über die Ergebnisse dieser Unterrichtsstudie haben wir bereits mehrfach berichtet (Möller et al. 2002, Jonen et al. 2003, Blumberg et al. 2003 und 2004, Hardy et al. 2006). Wir überprüften die Lernfortschritte der Schüler, insbesondere auch die der leistungsschwachen Schüler, mit geschlossenen und offenen Items in einem Fragebogen vor und nach dem Unterricht sowie in einem nach dem Unterricht eingesetzten Transferfragebogen. Nach einem Jahr wiederholten wir den Test. Zusätzlich erfragten wir in einem weiteren Fragebogen, wie interessiert die Kinder den Unterricht verfolgten, wie motiviert sie waren, inwiefern sie sich als kompetent erlebt haben, wie zufrieden sie mit dem Unterricht waren, wie konstruktivistisch sie den Unterricht empfunden haben und wie erfolgszuversichtlich sie nach dem Unterricht waren. Wir interessierten uns dabei u.a. für die Fragen, ob die Kinder Lernfortschritte in einem derartig anspruchsvollen Unterricht machen können, ob auch leistungsschwache Kinder von dem Unterricht profitieren, ob sich die Wirkungen in den beiden Unterrichtsformen und im Vergleich zu einer nicht unterrichteten Basisgruppe unterschieden und ob das erworbene Verständnis nachhaltig ist.

¹⁰ Die Knobelaufgaben wie auch typische Antworten der Kinder sind in Möller (2005) zu finden.

Ergebnisse bzgl. der kognitiven Leistungen bei den geschlossenen und den offenen Antworten:

Zunächst lässt sich für die geschlossenen Antworten festhalten, dass alle unterrichteten Kinder von Prä nach Post signifikant dazu lernten. Das galt auch für die leistungsschwächeren Kinder. Der konstruktivistisch orientierte Unterricht mit der stärkeren Strukturierung war im Hinblick auf den Lernerfolg und im Hinblick auf die Transferleistungen erwartungsgemäß dem Unterricht mit geringerer Strukturierung überlegen. Beide Gruppen unterschieden sich zudem signifikant von der Gruppe, die keinen Unterricht erhalten hatte (Möller et al. 2002).

Bei den offenen Antworten zeigte sich, dass Fehlkonzepte von den Kindern im Posttest signifikant seltener verwendet wurden, während 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 (Jonen et al. 2003).

Außerdem lernten die leistungsschwächeren Kinder im Unterricht mit stärkerer Strukturierung mehr hinzu als im Unterricht mit geringerer Strukturierung. Die leistungsstärkeren Schüler unterschieden sich dagegen nicht in beiden Unterrichtsformen, was darauf hindeutet, dass Kinder mit guten Lernvoraussetzungen gleichermaßen von beiden Unterrichtsformen profitieren (Möller et al. 2002).

Für das erworbene integrierte Verständnis, das durch den gleichzeitigen Abbau von Fehlvorstellungen und den Aufbau adäquater Vorstellungen gekennzeichnet ist, zeigte sich folgende Langzeitwirkung: 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 Post- zum Follow-Up-Test keinen signifikanten Abfall im integrierten Verständnis aufwies, wies die Gruppe mit geringerer Strukturierung einen signifikanten Abfall auf (Hardy et al. 2006).

In den offenen Antworten zeigte sich in bezug auf die Langzeitwirkung, dass die Gruppe mit stärkerer Strukturierung signifikant weniger Fehlkonzepte und signifikant mehr anspruchsvolle wissenschaftliche Konzepte produzierte als die Gruppe mit geringerer Strukturierung im Unterricht. Zurückzuführen ist dieser Effekt in der OHNE-Gruppe auf das signifikante Ansteigen von Fehlkonzepten nach dem Unterricht bis zur Follow-up-Messung nach einem Jahr. Mit anderen Worten: Durch den Unterricht abgebaute Fehlkonzepte erschienen in der OHNE-Gruppe nach einem Jahr wieder, während die MIT-Gruppe nachhaltig Fehlkonzepte abbauen konnte (Hardy et al. 2006).

Ergebnisse bzgl. motivationaler und selbstbezogener Wirkungen:

Insgesamt war die Lernzufriedenheit mit beiden Unterrichtsformen ausgesprochen hoch. Zwischen beiden Unterrichtsgruppen gab es aber – entgegen der weit verbreiteten Erwartung, dass ein offener, schülerorientierter Unterricht eher den Bedürfnissen von Kindern entgegen kommt als ein stärker strukturierter Unterricht – keinen Unterschied in der empfundenen Lernzufriedenheit. Erstaunlicherweise war auch die Einschätzung der eigenen Freiräume im Unterricht und die empfundene Eigenbeteiligung in beiden Gruppen gleich: Die Schüler hatten in beiden Gruppen das ausgeprägte Gefühl, eigene Ideen einbringen zu können, selbst etwas herausfinden zu können, ausgiebig miteinander über die Ideen sprechen zu können und 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 Sequenzierung und der strukturierteren Gesprächsführung stärker unterstützt, so dass sie mehr Kompetenz erleben konnten, sich stärker engagiert erlebt hatten, stärker 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 und engagiert, höher motiviert und erfolgszuversichtlicher einschätzten als im OHNE-Unterricht, während sich für die leistungsstärkeren Kinder kein Unterschied in den Unterrichtsgruppen ergab (Blumberg et al. 2004).

Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass ein anspruchsvoller, auf den Erwerb physikalischer Konzepte ausgerichteter Unterricht keineswegs eine Überforderung für Grundschulkinder 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 Vor-

stellungen, 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 das Motiviert-Sein der Lernenden aus.

Zur unterstützenden Rolle der Lehrkraft in einem konstruktivistisch orientierten Unterricht

Ein Unterricht, wie er in der MIT-Gruppe durchgeführt wurde, ähnelt einem genetisch angelegten Unterricht, in dem Freiräume zum forschenden Lernen und zur Wissenskonstruktion existieren, in dem gleichzeitig aber durch die Gliederung des Unterrichts und durch eine strukturierende Gesprächsführung der Aufbau von adäquaten Vorstellungen durch die Lehrkraft unterstützt wird. Bereits in den 1970er Jahren gab es z.B. von Einsiedler Untersuchungen zur Bedeutung von Strukturierung und Sequenzierung und zur Bedeutung prozessorientierter Lernhilfen im Rahmen gelenkt entdeckender Unterrichtsverfahren. Leider brachen diese Untersuchungsstränge in den 1980er Jahren ab.

Theoretisch eignet sich das bereits von Vygotsky (1978) 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

- 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 advanced organizern, um die Aufmerksamkeit von Schülern auf wichtige Aspekte zu richten.

Reiser (2004) beschreibt die Rolle der Lehrkraft als delikat, da die Lehrkraft versuchen muss, ein optimales Level an Unterstützung bereit zu stellen. Die Aufgabe der Lehrkraft lässt sich dabei auf die Formel bringen: Die Lehrkraft sollte soviel Hilfe wie notwendig und soweinig 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, ist also nur erfolgreich, wenn eine entsprechende Unterstützung durch die Lehrkraft erfolgt. Zu glauben, dass Handeln und Experimentieren der Lernenden allein zu verstandenen Wissen führe und man Kinder unbehelligt forschen lassen sollte, um ihre kognitive Kreativität und ihr Interesse zu fördern, ist naiv.

Der in unserer Studie evaluierte Unterricht ist deshalb nicht nur für die Lernenden anspruchsvoll. Auch von der Lehrkraft erfordert ein solcher Unterricht eine Reihe anspruchsvoller Kompetenzen – sowohl im fachlichen wie auch im didaktisch-methodischen Bereich. Die Lehrerbildung in allen Phasen sollte sich hier gefordert sehen.¹¹

Literatur

- Blumberg, E./Möller, K./Hardy, I. (2004). Erreichen motivationaler und selbstbezogener Zielsetzungen in einem schülerorientierten naturwissenschaftsbezogenen Sachunterricht – Bestehen Unterschiede in Abhängigkeit der Leistungsstärke? In: Bos, W./Lankes, E.-M./Plaßmeier, N./Schwippert, K. (Hrsg.), *Heterogenität – Eine Herausforderung an die empirische Bildungsforschung*. Münster. S. 41-55.
- Blumberg, E./Möller, K./Jonen, A./Hardy, I. (2003). Multikritiale Zielerreichung im naturwissenschaftsbezogenen Sachunterricht der Grundschule. In: Cech, D./Schwier, H.-J. (Hrsg.), *Lernwege und Aneignungsformen im Sachunterricht*. Bad Heilbrunn. S. 77-92.
- Bullock, M./Ziegler, A. (1999). Scientific reasoning. Developmental changes and individual differences. In: Weinert, F.E./Schneider, W. (Hrsg.), *Individual development between three and twelve. Findings from a longitudinal study*. Cambridge.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge.
- Davis, E./Miyake, N. (2004). Explorations of scaffolding in complex classroom systems. *The Journal of the Learning Sciences*, 13(3), 265-272.
- Deutscher Bildungsrat (1972). *Empfehlungen der Bildungskommission. Strukturplan für das Bildungswesen*. Stuttgart.
- Duit, R. (1999). Conceptual change approaches in science education. In: Schnottz, W./Vosniadou, S./Carretero, M. (Eds.), *New Perspectives on conceptual change*. Amsterdam, New York, Oxford. S. 263-282.
- 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. S. 3-26.
- 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. S. 1047-1065.
- Einsiedler, W. (2002). Empirische Forschung zum Sachunterricht. Ein Überblick. In: Spreckelsen, K./Möller, K./Hartinger, A. (Hrsg.), *Ansätze und Methoden empirischer Forschung zum Sachunterricht. Forschungen zur Didaktik des Sachunterrichts*, 5. Bad Heilbrunn. S. 17-38.

11 Zu den erforderlichen Kompetenzen von Lehrkräften vgl. Möller 2004. Zu Lehrerfortbildungen und ihren Wirkungen vgl. Kleickmann et al. im Druck.

- Gerstenmaier, J./Mandl, H. (1995). Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41, 867-887.
- Hardy, I./Jonen, A./Möller, K./Stern, E. (2006). Effects of Instructional Support within Constructivist Learning Environments for Elementary School Students' Understanding of „Floating and Sinking“. *Journal of Educational Psychology*. Vol. 98, No. 2., 307-326.
- Hogan, K./Pressley, M. (1997). Scaffolding scientific competencies within classroom communities of inquiry. In: Hogan, K./Pressley, M. (Eds.), *Scaffolding student learning: Instructional approaches and issues*. Louiseville, Quebec. S. 74-107.
- Janke, B. (1995). Entwicklung naiven Wissens über den physikalischen Auftrieb: Warum schwimmen Schiffe? *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 172, S. 122-138.
- Jonen, A./Möller, K./Hardy, I. (2003). Lernen als Veränderung von Konzepten – am Beispiel einer Untersuchung zum naturwissenschaftlichen Lernen in der Grundschule. In: Cech, D./Schwier, H.-J. (Hrsg.), *Lernwege und Aneignungsformen im Sachunterricht*. Bad Heilbrunn. S. 93-108.
- 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: Speck-Hamdan, A./Brügelmann, H./Fölling-Albers, M./Richter, S. (Hrsg.), *Kulturelle Vielfalt. Religiöses Lernen. Jahrbuch Grundschule*, 4. Seelze. S. 159-164.
- Kleickmann, T./Möller, K./Jonen, A. (im Druck). Die Wirksamkeit von Fortbildungen und die Bedeutung von tutorieller Unterstützung. Erscheint in: Hinz, R./Schumacher, B. (Hrsg.), *Jahrbuch Grundschulforschung*.
- Klewitz, E. (1989). *Zur Didaktik des naturwissenschaftlichen Sachunterrichts. Eine Untersuchung von Unterrichtsmodellen am Beispiel von „Schwimmen und Sinken“ vor dem Hintergrund der genetischen Erkenntnistheorie Piagets*. Naturwissenschaften und Unterricht, 3. Essen.
- 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. S. 88-124.
- Lauterbach, R. (1992). Naturwissenschaftlich orientierte Grundbildung im Sachunterricht. In: Riquarts, K. u.a. (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung in der Bundesrepublik Deutschland. Bd. 3: Didaktik*. Kiel. S. 191-256.
- Leicht, W.H. (1973). Physik und Chemie in der Grundschule. Lehrerhandbuch. 3. Jahrgangsstufe. München.
- Mayer, R. (2004). Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? The case for guided methods of instruction. *American Psychologist*, 59(1), 14-19.
- Möller, K. (1999). Konstruktivistisch orientierte Lehr-Lernprozessforschung im naturwissenschaftlich-technischen Bereich des Sachunterrichts. In: Köhnlein, W. (Hrsg.), *Vielperspektivisches Denken im Sachunterricht. Forschungen zur Didaktik des Sachunterrichts*, 3. Bad Heilbrunn. S. 125-191.
- 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. Forschungen zur Didaktik des Sachunterrichts*, 4. Bad Heilbrunn. S. 275-298.
- Möller, K. (2001b). Konstruktivistische Sichtweisen für das Lernen in der Grundschule? In: Czerwenka K./Nölle, K./Roßbach, H.-G. (Hrsg.), *Jahrbuch Grundschulforschung*, 4. Opladen. S. 16-31.

- Möller, K. (2002). Anspruchsvolles Lernen in der Grundschule – am Beispiel naturwissenschaftlich-technischer Inhalte. *Pädagogische Rundschau*, 56 (2002) 4, S. 411- 435.
- Möller, K. (2004). Naturwissenschaftliches Lernen in der Grundschule – Welche Kompetenzen brauchen Grundschullehrkräfte? In: Merkens, H. (Hrsg.), *Lehrerbildung: IGLU und die Folgen. Schriften der Deutschen Gesellschaft für Erziehungswissenschaft*. Opladen. S. 65-84.
- Möller, K. (Hrsg.). (2005). Die KiNT-Boxen – Kinder lernen Naturwissenschaft und Technik. Klassenkisten für den Sachunterricht. Band 1: *Schwimmen und Sinken*. Essen.
- Möller, K./Jonen, A./Hardy, I./Stern, E. (2002). Die Förderung von naturwissenschaftlichem Verständnis bei Grundschulkindern durch Strukturierung der Lernumgebung. In: Prenzel, M./Doll, J. (Hrsg.), *Bildungsqualität von Schule*. Zeitschrift für Pädagogik, 45. Beiheft. Weinheim, Basel. S. 176-191.
- 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, S. 423-451.
- Reiser, B. (2004). Scaffolding complex learning: The mechanisms of structuring and problematizing student work. *The Journal of the Learning Sciences*, 13(3), S. 273-304.
- Roth, H. (Hrsg.). (1969). Begabung und Lernen. Ergebnisse und Folgerungen neuerer Forschung. Stuttgart.
- Schwartz, E. (1977). Heimatkunde oder Sachunterricht? Keine Alternative! In: Schwartz, E. (Hrsg.), *Von der Heimatkunde zum Sachunterricht*. Braunschweig. S. 9-23.
- Siegler, R.S. (1996). *Emerging minds: The process of change in children's thinking*. New York.
- Sodian, B. (1995). Entwicklung bereichsspezifischen Wissens. In: Oerter, R./Montada, L. (Hrsg.), *Entwicklungspsychologie*. Weinheim. S. 622-653.
- Stern, E./Möller, K. (2004). Der Erwerb anschlussfähigen Wissens als Ziel des Grundschulunterrichtes. In: Lenzen, D./Baumert, J./Watermann, R./Trautwein, U. (Hrsg.), *PISA und die Konsequenzen für die erziehungswissenschaftliche Forschung*. Zeitschrift für Erziehungswissenschaft. 3. Beiheft. Wiesbaden. S. 25-36.
- Stern, E. (2002). Wie abstrakt lernt das Grundschulkind? Neuere Ergebnisse der entwicklungspsychologischen Forschung. In: Petillon, H. (Hrsg.). (2002), *Jahrbuch Grundschulforschung 5. Individuelles und soziales Lernen in der Gundschule – Kindersichtweise und pädagogische Konzepte*. Opladen. S. 27-42.
- Vosniadou, S./Ioannides, C./Dimitrakopoulou, A./Papademetriou, E. (2001). Designing learning environments to promote conceptual change in science. *Learning and Instruction*, 15, S. 317-419.
- Vygotsky, L. (1978). *Mind and society: The development of higher psychological processes*. Cambridge.
- Weinert, F.E./Helmke, A. (Hrsg.). (1997). *Entwicklung im Grundschulalter*. Weinheim.
- Wood, D./Bruner, J./Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 17, S. 89-100.
- Worth, K. (2005). Curriculum and professional development: critical components on elementary science education reform. In: *Science is Primary. Proceedings of the 2004 European Conference on Primary Science and Technology education*. Amstel Institute, Amsterdam.

Bibliografische Informationen Der Deutschen Bibliothek
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in
der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische
Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

ISBN-10 3-8309-1722-8
ISBN-13 978-3-8309-1722-9

© Waxmann Verlag GmbH, Münster 2006

www.waxmann.com
info@waxmann.com

Umschlaggestaltung: Christian Averbeck, Münster
Titelbild: © Photocase
Satz: Stoddart Satz- und Layoutservice, Münster
Druck: Hubert & Co., Göttingen
Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier,
säurefrei gemäß ISO 9706

Alle Rechte vorbehalten
Printed in Germany