

# Warum schwimmt ein Baumstamm?

Kinder im Grundschulalter sind durchaus in der Lage, physikalische Konzepte wie Dichte und Auftrieb zu begreifen

Elisabeth Stern, Kornelia Möller, Ilonca Hardy und Angela Jonen

**Können bereits Grundschulkinder komplexe physikalische Phänomene verstehen? Weit verbreitet ist die Annahme, dass erst Schüler der Sekundarstufe etwas mit physikalischen Konzepten wie Dichte und Auftrieb anfangen können. Diese Annahme hat die Lehrpläne an den Grundschulen geprägt; naturwissenschaftliche Inhalte sind in fast allen Bundesländern randständig. In zwei Untersuchungen zeigen wir, dass Kinder sehr wohl in der Lage und interessiert sind, naturwissenschaftliche Phänomene zumindest in Ansätzen zu verstehen.<sup>1)</sup> Wir fordern deshalb, dass bereits im Sachunterricht der Grundschule physikalisches Basisverständnis erarbeitet wird, an das der Unterricht in der Sekundarstufe anknüpfen kann.**

Fragt man Drittklässler, die noch keine Gelegenheit hatten, im Unterricht etwas über die Gründe für das Schwimmen oder das Sinken von Gegenständen zu erlernen, ob ein schwerer Baumstamm schwimmt, antwortet etwa die Hälfte der Kinder, dass der Baumstamm untergeht! (Aufgabe 1). Die Kinder begründen ihre Antwort damit, dass der Baumstamm so schwer sei. Kinder, die angeben, dass der Baumstamm schwimmt, meinen vielfach, die Luft ziehe ihn nach oben.

Vor dem Hintergrund klassischer entwicklungspsychologischer Erklärungsansätze, die insbesondere auf den Schweizer Biologen und Psychologen Piaget zurückgehen, sind diese Antworten nicht verwunderlich. In dieser Theorie wird angenommen, dass sich die geistigen Operationen von Erwachsenen grundlegend von denen der Kinder unterscheiden, bis diese im Alter von etwa 12 Jahren ihre volle formale geistige Reife erlangen. So konzentrieren sich Kinder im genannten Beispiel auf nur eine Dimension, d. h. bei Aufgabe 1 auf das Gewicht, oder sie bringen wie bei der ziehenden Luft animistische Vorstellungen von der unbelebten Natur zum Ausdruck.

In Anlehnung an die Theorie Piagets ging man lange Zeit davon aus, dass die geistige Reifung – ähnlich wie die körperliche Entwicklung – zwar bestimmte externe Rahmenbedingungen benötigt, die Veränderung aber vorwiegend internen Mechanismen unterliegt. Danach können Kinder naturwissenschaftliche Konzepte wie Dichte und Auftrieb erst verstehen, wenn in ihrem Denkapparat die formalen Voraussetzungen dafür gegeben sind. Aus der Sicht der Entwicklungspsychologie gilt jedoch eine derartige Vorstellung von geistiger Entwicklung inzwischen als überholt. Neueren kognitiven Theorien zufolge ist Lernen der wichtigste Mechanismus der geistigen Entwicklung. Bereichsspezifisches Wissen ist die Voraussetzung für formale Denkleistungen und nicht umgekehrt [1, 2].

Die aus Piagets Theorie abgeleitete Vorstellung vom Grundschulkind, das im konkret-operationalen Denken verhaftet ist, hatte weitreichende und aus heutiger Sicht sehr ungünstige Konsequenzen für die Entwicklung schulischer Lernangebote. Physikalische Inhalte z. B. wurden, wenn überhaupt, vorwiegend auf einer phänomenorientierten, handlungsnahen Ebene im Sachunterricht der Grundschule thematisiert. Beispielsweise klassifiziert man Gegenstände nach dem Kriterium „Material, das schwimmt“ bzw. „Material, das sinkt“. Der Aufbau kognitiver Strukturen wurde dagegen mit Verweis auf die noch begrenzten Denkfähigkeiten der Kinder vernachlässigt.

Eine Reihe von Untersuchungen zeigt aber, dass Grundschulkinder – mit durchgängig hoher Motivation – bei angemessener Unterstützung bereits ein Verständnis aufbauen können, das im Vergleich zu ihrem intuitiven Wissen eine Weiterentwicklung in Richtung wissenschaftlicher Konzepte darstellt [3]. Eine frühe Förderung physikalischen Denkens scheint also möglich; sie ist auch wünschenswert, weil sie späteres Lernen erleichtern und so dem Interessen- und Leistungs-

## Aufgabe 1

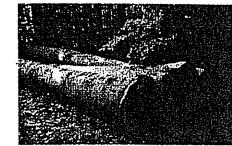
**Schwimmt ein großer Baumstamm im Wasser?**

**Fünf starke Männer können ihn nicht hochheben.**

Kreuze an und begründe:

- Der Baumstamm schwimmt,
- Der Baumstamm geht unter,

weil



abfall im naturwissenschaftlichen Bereich entgegenwirken kann.

Dass Kinder in der Lage sind, ihr Vorwissen auch in anspruchsvollen Themenbereichen zu verändern, konnten wir in einer Untersuchung mit Drittklässlern in Münster und Berlin zeigen [4]. Nach einem Unterricht zum Thema „Schwimmen und Sinken“, der sich über acht Doppelstunden erstreckte und in sechs Klassen durchgeführt wurde, antworteten fast 100 % der Kinder bei der Aufgabe 1, dass der Baumstamm schwimmt. Sie gaben recht anspruchsvolle Begründungen: „Schwimmt, weil er aus Holz ist. Und weil er genug Wasser wegrängt“, „Schwimmt, weil er im Wasser so viel Platz wegnimmt und das Wasser den Platz wieder haben will und das Wasser drückt den Baumstamm nach oben“.

„Schwimmt, weil der Baumstamm ist leichter als die gleiche Menge Wasser“. In allen Beispielen zeigt sich, dass die Kinder ihre zuvor auf einen Aspekt zentrierten, nicht belastbaren Vorstellungen aufgegeben haben. Sie beziehen sich in ihren Erklärungen auf das Material, das unabhängig von der Größe für das Schwimmen oder Sinken verantwortlich ist, auf die Rolle des Wassers, das den Auftrieb bewirkt, bzw. auf einen Vergleich der Dichte von Gegenstand und Wasser.

## Warum versagt Physikunterricht in der Sekundarstufe?

Wie kommt es, dass Grundschulkinder bereits in kurzer Zeit erhebliche Lernfortschritte machen können, während der Physikunterricht in der Sekundarstufe an vielen durchaus intelligenten Gymnasias-

1) Das Projekt wird im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms „Die Bildungsqualität von Schule: Fachliches und fächerübergreifendes Lernen im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht in Abhängigkeit von schulischen und außerschulischen Kontexten“ gefördert. Die Grundschullehrerin Angela Jonen promoviert und die pädagogische Psychologin Ilonca Hardy habilitiert im Rahmen des Projektes.

Prof. Dr. Elisabeth Stern, Dr. Ilonca Hardy, Max-Planck-Institut für Bildungsforschung, Lentzeallee 94, 14195 Berlin;  
Prof. Dr. Kornelia Möller, Angela Jonen, Seminar für Didaktik des Sachunterrichts, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Leonardo Campus 11, 48149 Münster

ten weitgehend spurlos vorübergeht? Bei Forschern, die sich mit dem Lernen von Physik befassen, herrscht inzwischen Einigkeit darüber, dass der Physikunterricht häufig unangemessen mit den intuitiven Vorstellungen von physikalischen Gesetzmäßigkeiten umgeht, die von den Schülern in den Unterricht eingebracht werden.

Trotz dieser Forschungsergebnisse wird die Tatsache, dass Lernende nicht als *tabula rasa* in den Physikunterricht eintreten, sondern ihre eigenen, allerdings nicht immer mit der wissenschaftlichen Physik in Einklang stehenden Vorstellungen von Bewegung, Kräften und anderen physikalischen Größen haben, in der Schulpraxis noch nicht hinreichend berücksichtigt. Manche Schülervorstellungen zeigen Ähnlichkeit mit überholten Vorstellungen der wissenschaftlichen Physik, viele Vorstellungen sind durch Alltagserfahrungen geprägt. Werden diese Schülervorstellungen im

wärtig oft erst in der 8. Klasse im Physikunterricht konfrontiert werden. Bis dahin haben sich die intuitiven Vorstellungen durch Bestätigung im Alltag häufig so stark verfestigt, dass sie nicht mehr aufgegeben werden. Unser Ziel ist es deshalb, bereits Grundschulkinder bei der Prüfung der Belastbarkeit bestehender intuitiver Vorstellungen und beim Aufbau von Alternativen zu unterstützen. Selbst wenn Schüler ihre intuitiven Vorstellungen nicht ganz aufgeben und das Niveau der wissenschaftlichen Erklärungen noch nicht erreichen können, sollten sie bereits zu einem frühen Zeitpunkt ihr Vorwissen in Frage stellen und neues Wissen aufbauen, an das ein späterer Ausbau von Konzepten anknüpfen kann.

Die kognitionswissenschaftliche Forschung zeigt, dass nicht nur Kinder, sondern auch hochintelligente Erwachsene Wissen nur sehr zögerlich revidieren oder aufgeben. Menschen können über einen langen Zeitraum mehrere nicht miteinander zu vereinbarende Erklärungsmuster verfügbar haben, ohne dass Widersprüche wirklich stören. Erst im Laufe der Zeit setzen sich bewährte Erklärungsmuster durch. Vor diesem Hintergrund ist es besonders wichtig, Kinder bereits zu einem frühen Zeitpunkt im Aufbau adäquater Konzepte zu unterstützen. Dabei sollte es sich um Konzepte handeln, die einerseits für Kinder nachvollziehbar und einleuchtend sind, andererseits aber auch fruchtbare Alternativen zu den bisherigen intuitiven Erklärungen darstellen.

Eine instruktive, schnelle Vermittlung adäquater Konzepte reicht jedoch nicht aus, wie sich in vielen Untersuchungen gezeigt hat. Kinder müssen vielmehr aktiv und aufgrund eigener Denkprozesse vorhandene Konzepte in Frage stellen, mithilfe von Materialien überprüfen, neue Ideen entwickeln, diese wiederum überprüfen und in ihrer eigenen Sprache repräsentieren, um trüges, lediglich formal gelernetes Wissen zu vermeiden und Verstehensprozesse zu ermöglichen.

Sicherlich handelt es sich bei den neu aufgebauten Deutungen noch nicht um „physikalische“ Konzepte. Wenn Grundschulkinder erklären: „Taucht man einen Gegenstand ins Wasser, drängt dieser das Wasser weg. Das Wasser will aber an seinen Platz zurück und drückt deshalb gegen den Gegen-

stand,“ deuten sie das Phänomen in gewisser Weise immer noch animistisch („Das Wasser will an seinen Platz zurück“), was aus physikalischer Perspektive sicherlich noch unbefriedigend ist. Auch die Arbeit am Dichtebegriiff erfordert physikalische „Kompromisse“: Die Kinder kennen weder das Konzept der Masse noch das des Volumens. Statt dessen benutzen sie in ihren Deutungen Begriffe wie Gewicht und Größe, um das Schwimmen bzw. Sinken von Gegenständen durch die besondere Stoffeigenschaft der Dichte zu erklären (ein Stück Eisen ist *schwerer* als ein ebenso großes Stück Holz).

Indes bleibt keine andere Wahl. Den theoretischen Kontext in der Physik, der die Unterscheidung zwischen Masse und Gewicht sinnvoll macht, können Grundschulkinder noch nicht verstehen; entsprechende begriffliche Unterscheidungen könnten deshalb nicht nachvollzogen werden. Dennoch machen die Kinder in unserem Beispiel einen enormen Lernfortschritt: Sie geben z. B. die Vorstellung, alles was schwer ist, sinkt, zugunsten der ausbaufähigen Vorstellung „es kommt darauf an, wie schwer das Material ist“ auf.

Auch wenn die Vorstellung, das Schwimmen von schweren, eisernen Schiffen habe etwas mit der Luft im Schiff zu tun, auch nach dem Unterricht noch vorhanden ist, sehen die Schüler doch auch die dem Auftrieb zugrundeliegende Rolle des Wassers, wenn sie die nach oben gerichtete Kraft des Wassers beschreiben. Sie lernen dabei, Vorstellungen kritisch auf ihre Belastbarkeit zu überprüfen, sich nicht bewährende Vorstellungen abzulegen und angemessene Vorstellungen zu entwickeln [5].

Dennoch muss man die Gefahr im Auge behalten, dass ein Unterricht im Vorfeld der Physik Fehlvorstellungen induzieren kann, welche die Schwierigkeiten im Physikunterricht in der Sekundarstufe sogar noch vergrößern könnten. Ein Grundschullehrer, der die Formel  $Dichte = Gewicht / Größe$  an die Tafel schreibt und die Kinder auffordert, sich dies für alle Zeiten zu merken, würde grob fahrlässig handeln. Hier würde in der Tat die Gefahr bestehen, dass die Schule Fehlvorstellungen induziert. Wenn man Konzepte mit den Kindern auf einer Vorstufe entwickelt, sollte man auf explizite Formalisierungen, Verall-

## Aufgabe 2

### Ein Metalldraht wird ins Wasser getaucht. Was passiert?

1. Kreuze an, was stimmt.

2. Kreuze dann alle richtigen Erklärungen an.

Der Metalldraht geht unter  steigt nach oben

weil er sich festhält.

weil das weggedrängte Wasser weniger wiegt als der Metalldraht.

weil er so lang und dünn ist.

weil das weggedrängte Wasser mehr wiegt als der Metalldraht.

weil er vom Wasser nicht stark genug nach oben gedrückt wird.

weil er so leicht ist.

Unterricht ignoriert oder werden Schüler vorschnell zur Übernahme wissenschaftlich adäquater Vorstellungen gedrängt, wird Oberflächenwissen aufgebaut, auf dessen Grundlage Schüler zwar den schulischen Mindestanforderungen genügen, aber kein wirkliches Verständnis für die Physik entwickeln.

## Physik lernen im Grundschulalter

Wie eingangs dargestellt, haben bereits achtjährige Kinder explizite Vorstellungen von den Gründen, aus denen manche Gegenstände im Wasser schwimmen und andere untergehen: Entscheidend seien z. B. das Gewicht oder die Form eines Gegenstandes oder die aktive Rolle der Luft. Diese Vorstellungen sind inkompatibel mit den Konzepten „Dichte“ und „Auftrieb“ der Physik, mit denen die Kinder jedoch gegen-

gemeinerungen und Definitionen verzichten. Diese sollten erst eingeführt werden, wenn die Begriffe im wissenschaftlichen Sinne verstanden werden können und die Voraussetzungen für eine Formalisierung gegeben sind.

Als Lehrer muss man sich aber von der Vorstellung befreien, man könne im naturwissenschaftlichen Unterricht nur Inhalte behandeln, bei denen man die ihnen zugrundeliegenden Begriffe zuvor definiert und formalisiert hat. Begriffsdefinitionen und Formalisierungen sind erst sinnvoll, wenn die zugrundeliegende Problemstellung auf einem qualitativen Niveau verstanden wurde. Im naturwissenschaftlichen Unterricht der Grundschule sollten Kinder deshalb an solche Fragestellungen herangeführt werden, die auf einem qualitativen Niveau im Vorfeld der Physik erarbeitet werden können. Dabei sollen sie Denkweisen kennen lernen, mit deren Hilfe sie bestehende Vorstellungen auf ihre Belastbarkeit testen und Deutungen entwickeln können, die mit den Konzepten der Physik kompatibel sind.

### Physik lehren in der Grundschule

Wir haben in Münster und Berlin Lernumgebungen entwickelt, die Drittklässler dabei unterstützen sollen zu verstehen, warum manche Gegenstände im Wasser schwimmen und andere nicht.

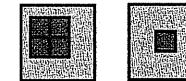
In dem von Kornelia Möller geleiteten Seminar für Didaktik des Sachunterrichts wurde ein acht Doppelstunden umfassender Unterricht entwickelt, in dem Schüler im Diskurs, in Gruppenarbeit und an Lernstationen herausfinden konnten, welche Gegenstände im Wasser schwimmen und welche untergehen. Außerdem lernten die Kinder, dass Gegenstände Wasser verdrängen und dass Wasser „drückt“ (indem sie ihre eigene, in einem Plastikhandschuh steckende Hand in das Wasser tauchten). Indem sie im Schwimmbad zum Beispiel versuchten, einen Bottich ins Wasser zu drücken und einen Stein an einer Angel aus dem Wasser zu ziehen, erspürten sie die Auftriebskraft. Diese Erkenntnisse benutzten sie schließlich, um das Schwimmen eiserner Schiffe zu erklären.

### Konstruktivistisch orientierter Unterricht

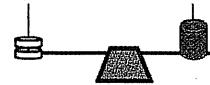
Alle im Unterricht eingesetzten Methoden basierten auf so genannten konstruktivistischen Vorstellungen vom Lernen. Darunter ist die auch mit der kognitionswissenschaftlichen Forschung zu vereinbarende Annahme zu verstehen, dass Wissen nicht direkt vom Lehrenden auf den Lernenden übertragen wird, sondern dass der Lernende die eingehenden Informationen aktiv auswählt, sie mit bestehendem Wissen verknüpft und so sein Verständnis von einer Sache konstruiert. Eine erfolgreiche Lehrperson muss demnach das vorhandene Vorwissen ihrer Schüler kennen. Nur so kann sie an das bestehende Wissen anknüpfen, zu erwartende Lernschwierigkeiten diagnostizieren und anregungsreiche Lernumwelten zur Verfügung stellen. An bestehendes Vorwissen lässt sich anknüpfen, indem dieses ergänzt, verallgemeinert oder aber auch widerlegt wird. Am einfachsten ist es, an aktviertes, d. h. bewusst verfügbares Wissen anzuknüpfen. Deshalb ist es wichtig, die Schüler bei der Verbalisierung und damit bei der Aktivierung ihres Vorwissens zu unterstützen. Schülertgespräche haben in einem konstruktivistisch orientierten Unterricht deshalb eine wichtige Funktion.

Zum Kern konstruktivistischer Lerntheorien gehört aber auch, dass die Lernenden nicht zur Übernahme neuen Wissens gedrängt werden, sondern es ihnen selbst überlassen wird, wie sie die angebotene Information nutzen. Obwohl die Grundidee des konstruktivistischen Lernens inzwischen unter Pädagogen unstrittig ist, wird die Frage nach dem Umgang mit Fehlern noch kontrovers diskutiert. Soll die Lehrperson eine falsche Erklärung der Schüler korrigieren, indem sie die richtige Erklärung gibt und die Schüler auffordert, diese zu übernehmen? Wie bereits weiter vorn angesprochen, besteht die Gefahr, dass die Schüler ihre eigenen Erklärungen trotzdem aufrechterhalten und außerhalb des Unterrichtes weiter anwenden. Soll die Lehrperson eingreifen, wenn Schüler an den Lernstationen Aktivitäten zeigen, die sie offensichtlich nicht weiterbringen? Für den Ausführenden können auch scheinbar sinnlose Aktivitäten ihren Sinn haben. Sollen sich Lehrpersonen deshalb darauf beschränken, Angebote für

Schüleraktivitäten zu machen und explizierte Erklärungen nur auf Nachfrage geben? Auf derartige Fragen gibt es keine allgemeingültige Antwort. Vielmehr wird von der Lehrperson ein Balanceakt erwartet, der den Kern ihrer Professionalität darstellt.



Matrix mit Kästchen für Masse und Volumen (grüne Quadrate stehen für Volumen, blaue für Masse; das Ausmaß in dem die grüne Fläche bedeckt ist, repräsentiert die Dichte).



Balkenwaage mit Schraubenmuttern für Masse und Volumen (gelbe Gewichte stehen für Masse, blaue für Volumen; das Ausmaß an Drehpunktverschiebung, das nötig ist, um die Waage in Balance zu halten, repräsentiert die Dichte).

Wissenschaftliche Untersuchungen können dennoch den Versuch einer Orientierung unternehmen. Wir modifizierten in zwei Abstufungen den Grad der Strukturierung des von derselben Lehrerin (Angela Jonen) durchgeführten Unterrichts, indem wir die komplexe Problemstellung „Wie kommt es, dass ein Schiff schwimmt?“ in einer Gruppe als Lernwerkstatt konzipierten. Hier konnten die Kinder individuellen Fragen mit eigenen und angebotenen Experimenten nachgehen und ihre Entdeckungen in Kleingruppen und im Klassengespräch austauschen und diskutieren. Es wurde also ein hoher Grad der Selbststeuerung und Komplexität realisiert.

In der anderen Gruppe wurden sowohl die Komplexität wie auch die Selbststeuerung der Kinder eingeschränkt: Zunächst zerlegte die Lehrerin gemeinsam mit den Kindern die komplexe Ausgangsfrage in Teilfragen, die anschließend in Gruppenarbeit und an Lernstationen bearbeitet wurden. Zusätzlich unterstützte sie die Aktivitäten und Denkprozesse in dieser Gruppe durch eine strukturierte Gesprächsführung. Eine Videoauswertung durch unabhängige Beobachter ergab, dass sich die Aktivitäten der Lehrerin und die der Schüler tatsächlich in beiden Formen des Unterrichts unterschieden.

Wie wirkten sich diese Unterschiede nun auf die Schülerleistung aus? Testaufgaben wie die hier abgebildeten wurden vor und nach dem Unterricht vorgegeben. Es

Abb. 1:  
Externe Repräsentationsformen zur Darstellung von Dichte.

zeigten sich sehr deutliche Lernfortschritte in beiden Unterrichtsgruppen. Gleichzeitig gab es einen kleinen Vorsprung der Gruppe, die in einer konstruktivistisch orientierten Lernumgebung mit stärkerer Strukturierung arbeiteten.

### Die externe Repräsentation physikalischer Konzepte

Physikalische Konzepte sind an die Sprache, an Formeln und an graphisch-visuelle Veranschaulichungen gebunden. Das physikalische Ereignis wird sprachlich beschrieben: „Einen Gegenstand zu heben, ist schwerer als ihn eine schiefe Ebene hinaufzuziehen“. Dem liegt die Formel „ $Arbeit = Kraft \times Weg$ “ zugrunde. Mithilfe eines Vektordiagramms lässt sich veranschaulichen, wie Kraft durch Weg und umgekehrt kompensiert wer-

den kann. Die graphisch-visuelle Veranschaulichung ist das Bindeglied zwischen der Situation und der Formel. Aus kognitionswissenschaftlichen Arbeiten zur Expertise in Physik wissen wir, dass die graphisch-visuelle Veranschaulichung die wichtigste Komponente des Expertenwissens ist. Wer nur physikalische Ereignisse beschreiben und Formeln abrufen kann, wird Schwierigkeiten bekommen, wenn

die Aufgaben vom gewohnten Format abweichen. Veranschaulichungen in Form von Graphen und Diagrammen stellen Denkwerkzeuge dar, mit deren Hilfe sich eine komplexe Situation auf ihre Struktur reduzieren lässt.

Barbara White entwickelte graphisch-visuelle Werkzeuge zum Verstehen des Kraftbegriffs, mit deren Hilfe Schüler der Mittelstufe Transferleistungen innerhalb der Physik erbrachten, zu denen Universitätsstudenten, die diese Werkzeuge nicht kannten, im Grundstudium Physik nicht in der Lage waren [6]. Vor dem Hintergrund dieser und anderer Ergebnisse wurde am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung das ENTERPRISE-Projekt (Enhancing Knowledge Transfer and Efficient Reasoning by Practicing Representation in Science Education) etabliert. Hier wird erforscht, wie Graphen und Diagramme in schulische Lernumgebungen integriert werden können und in welchen Aspekten Leistungssteigerungen zu erwarten sind [7, 8].

Im Grundschulalter konzentrieren wir uns auf Repräsentationsformen, die Kindern helfen, zusammengesetzte Größen wie Geschmacksintensität von verdünntem Saft, Geschwindigkeit oder Dichte zu verstehen. Wie eingangs angekündigt, zeigen Kinder die Tendenz, sich auf nur eine Dimension – im Falle von Schwimmen und Sinken auf das Gewicht – zu konzentrieren. Wir versuchen, dieser Tendenz entgegenzuwirken, indem wir den Kindern externe Repräsentationsformen anbieten, die es nahe legen, neben dem Gewicht auch das Volumen eines Gegenstands zu berücksichtigen. Es werden Repräsentationsformen gewählt, die zudem eine Integration von Volumen und Masse in Form des Dichtekonzepts erlauben. Eine solche externe Repräsentationsform könnte der Graph einer linearen Funktion sein. Werden Masse und Volumen an den Achsen abgetragen, lässt sich die Dichte aus der Steigung des Graphen einer linearen Funktion ableiten. Dass bereits ein beachtlicher Teil der Viertklässler die Steigung im Graphen einer linearen Funktion bei der Interpretation von Verhältnissen nutzen kann, hat Susanne Koerber in ihrer Dissertation gezeigt [8].

Es gibt Grund zu der Annahme, dass für Viertklässler der Graph ei-

ner linearen Funktion auch für die Vermittlung des Dichtekonzepts angemessen sein könnte. Für Drittklässler dagegen schien uns die in Abbildung 1 dargestellten Repräsentationsformen angemessener: die Balkenwaage mit verstellbarem Drehpunkt und die Plättchenmatrix. Bei der Balkenwaage, die, wie die Arbeit von Koerber zeigt, noch besser verstanden wurde als der Graph, wird auf einem Arm das Volumen (gemessen als das Gewicht des verdrängten Wassers) und am anderen Arm die Masse eines Gegenstandes abgetragen. Aus der Schwerpunktverschiebung, die nötig ist, um die Waage in Balance zu halten, kann man eine Information über die Dichte ableiten. In der Plättchenmatrix wird das Volumen durch die Anzahl der Flächen und die Masse durch die Anzahl der Plättchen repräsentiert. Die Information über Dichte lässt sich dann an der Plättchendichte auf den Flächen ablesen.

Verglichen mit einer Kontrollgruppe, die keine Repräsentationsform erhielt, schnitten die Schüler, die entweder mit der Plättchenmatrix oder mit der Balkenwaage lernten, besser ab. Es scheint demnach sinnvoll, bereits Schülern in der Grundschule Repräsentationsformen an die Hand zu geben. Sie helfen ihnen beim Verstehen zusammengesetzter Größen. Darüber hinaus kann erwartet werden, dass die Kinder bereits früh mit der Möglichkeit vertraut gemacht werden, komplexe Situationen mit Hilfe externer räumlich-visueller Repräsentationsformen auf ihre formale Struktur zu reduzieren.

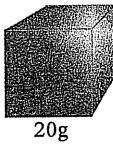
### Lernfortschritte der Schüler

In der Münsteraner Schulstudie und in der Berliner Laborstudie zeigten sich vergleichbare Lernfortschritte, die an drei Aufgabenbeispielen erläutert werden. So wählten bei den Aufgaben 2 und 3 im Vortest etwa 10 % der Kinder Erklärungen aus, die mit Expertenwissen kompatibel sind, während im Nachtest der Anteil bis zu 50 % betrug. Die meisten Aussagen zur Dichte und zum Auftrieb wurden überhaupt erst im Nachtest gewählt. Die Aufgabe 4 erfasst, ob die Kinder noch unangemessene Vorstellungen über die Rolle der Masse beim Schwimmen und Sinken von Gegenständen haben. Vor den Trainings kreuzten nur etwa 10 % der

### Aufgabe 3

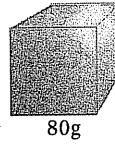
Hier sind verschiedene Würfel. Unter jedem Würfel steht, wie schwer er ist. Alle Würfel gehen im Wasser unter. Welcher Würfel drängt am meisten Wasser weg? Kreuze an:

Würfel 1



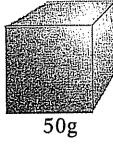
20g

Würfel 2



80g

Würfel 3



50g

Würfel 1    Würfel 2    Würfel 3

Alle Würfel drängen gleich viel Wasser weg.

### Aufgabe 4

Ein Schiff aus Eisen geht im Meer nicht unter. Warum?

- Der Motor hält das Schiff oben.
- Das Schiff wird vom Wasser nach oben gedrückt.
- Die Luft zieht das Schiff nach oben.
- Das Schiff ist innen hohl.
- Im Meer ist so viel Wasser.
- Wenn das Schiff bis zum Rand eingetaucht wird, wiegt das weggedrängte Wasser weniger als das Schiff.
- Wenn das Schiff bis zum Rand eingetaucht wird, wiegt das weggedrängte Wasser mehr als das Schiff.



den kann. Die graphisch-visuelle Veranschaulichung ist das Bindeglied zwischen der Situation und der Formel. Aus kognitionswissenschaftlichen Arbeiten zur Expertise in Physik wissen wir, dass die graphisch-visuelle Veranschaulichung die wichtigste Komponente des Expertenwissens ist. Wer nur physikalische Ereignisse beschreiben und Formeln abrufen kann, wird Schwierigkeiten bekommen, wenn

Kinder die richtige Antwort an, während nach dem Training hier ebenfalls etwa die Hälfte der Kinder richtig antworteten.

Insgesamt zeigten die Ergebnisse, dass in Münster wie in Berlin sowohl leistungsschwächere als auch leistungsstärkere Kinder vom Unterricht bzw. vom Training profitierten. Kinder mit schwächeren Voraussetzungen übernahmen auch nach dem Unterricht nicht alle anspruchsvolleren Erklärungen. Aber auch diese Kinder machten Fortschritte, indem sie z. B. erkannten, dass es vom Material und nicht von dessen Form abhängt, ob ein Gegenstand schwimmt oder sinkt. Aus Befragungen nach dem Unterricht wurde deutlich, dass die Kinder großes Interesse an der Thematik zeigten und sehr motiviert mitarbeiteten.

### Folgerungen für den Grundschulunterricht

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. Allerdings müssen bei einer Implementierung physikbezogener Inhalte in den Sachunterricht einige Aspekte beachtet werden:

► Gegenstand des Unterrichts sollten Phänomene des Alltags sein, die Grundschulkinder in Erstaunen versetzen. Über das Anwenden des Gelernten und das Verstehen weiterer Phänomene können Kinder Kompetenz erleben – eine wichtige Voraussetzung für eine positive Einschätzung der eigenen Fähigkeiten.

► Der Unterricht muss Kindern ausreichend Gelegenheit geben, ihre Ideen und Deutungen in Gesprächen zu entwickeln, sie in Experimenten zu überprüfen und Erklärungen zu konstruieren. Auf eigensprachliche Formulierungen ist dabei Wert zu legen, auch wenn diese dem physikalischen Sprachgebrauch noch nicht entsprechen. Besonders wichtig ist die Auseinandersetzung mit den zu Beginn geäußerten Präkonzepten. Aufgabe des Lehrers ist es, die Aufmerksamkeit der Kinder auf Widersprüche in ihren Äußerungen zu lenken, eine möglichst selbstständige Überprüfung nicht belastbarer Vorstellungen zu unterstützen und Konzeptwechsel anzuregen.

► Ein solcher Unterricht braucht Zeit! Unterricht im Vorfeld der Phy-

sik kann deshalb nur exemplarisch erfolgen. Eine systematische, möglichst breite Wissensvermittlung ist nicht beabsichtigt. Statt dessen sollen an wenigen Themen Denkweisen geschult werden, an die der spätere Physikunterricht anknüpfen kann. Die im Unterricht erarbeiteten Basiskonzepte und das damit bereits in der Grundschule erworbene qualitative Verständnis erleichtern die in der Sekundarstufe notwendigen begrifflichen Präzisierungen und Quantifizierungen.

► Die Fehler der Implementierungsversuche naturwissenschaftlichen Unterrichts im Zuge der Wissenschaftsorientierung in den siebziger Jahren dürfen nicht wiederholt werden. Viele damalige Versuche sind gescheitert, weil sie kindliche Denkweisen nicht genügend berücksichtigten. Daher müssen die Lernmöglichkeiten der Grundschulkinder sorgfältig beachtet werden: Sowohl Über- als auch Unterforderungen sind zu vermeiden [8].

► An Grundschullehrkräfte stellt ein solcher Unterricht hohe Anforderungen in fachlicher und fachdidaktischer Hinsicht. Ohne angemessene Aus- und Fortbildungskonzepte lässt sich ein derart anspruchsvoller Unterricht nicht implementieren.

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, eine Förderung, die angesichts der jüngsten PISA-Ergebnisse sicherlich wünschenswert wäre.

### Literatur

- [1] B. Sodian, Entwicklung bereichsspezifischen Wissens, in: R. Oerter, L. Montada (Hrsg.), Entwicklungspsychologie, Weinheim 1995, S. 622–653.
- [2] E. Stern, (in Druck), Wie abstrakt lernt das Grundschulkind? Neuere Ergebnisse der entwicklungspsychologischen Forschung, in: H. Petillon (Hrsg.), Handbuch Grundschulforschung Band 5: Individuelles und soziales Lernen – Kindersichtweise und pädagogische Konzepte. Leske + Budrich, Leverkusen.
- [3] A. Engelen, A. Jonen, K. Möller, Lernfortschrittsdiagnosen durch Interviews – Ergebnisse einer Pilot-
- [4] A. Jonen, K. Möller, E. Blumberg, I. Hardy, E. Stern (in Druck). Auswirkungen von Unterricht zum Thema „Schwimmen und Sinken“ auf das Erlernen physikalischer Basiskonzepte und auf nichtleistungsbezogene Zielsetzungen im Grundschulalter, in: Tagungsband zur Tagung für Didaktik der Physik/Chemie in Dortmund, September 2001 (Zur Didaktik der Physik und Chemie. Probleme und Perspektiven).
- [5] K. Möller, Konstruktivistisch-orientierte Lehr-Lernprozeßforschung im naturwissenschaftlich-technischen Bereich des Sachunterrichts, in: W. Köhnlein, B. Marquardt-Mau und H. Schreier (Hrsg.), Vielperspektivisches Denken im Sachunterricht (S. 125–191), Verlag Julius Klinkhardt, Bad Heilbrunn 1999
- [6] B. White, Intermediate causal models: a missing link for successful science education? in: R. Glaser (Hrsg.), Advances in Instructional Psychology, Vol. 5, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale 1993
- [7] E. Stern, I. Hardy, S. Koerber (in Druck). Die Nutzung graphisch-visueller Repräsentationsformen im Sachunterricht, in: K. Spreckelsen, A. Hartinger und K. Möller, Ansätze und Methoden empirischer Forschung zum Sachunterricht, Verlag Julius Klinkhardt, Bad Heilbrunn.
- [8] S. Koerber, Der Einfluss externer Repräsentationsformen auf proportionales Denken im Grundschulalter. Dissertation, angenommen an der Technischen Universität Berlin, Berlin 2000.
- [9] K. Möller, Lernen im Vorfeld der Naturwissenschaften – Zielsetzungen und Forschungsergebnisse, in: W. Köhnlein, H. Schreier, Innovation Sachunterricht – Befragung der Anfänge nach zukunftsfähigen Beständen. (=Forschungen zur Didaktik des Sachunterrichts, Band 4) Verlag Julius Klinkhardt, Bad Heilbrunn 2001.

studie zum „Schwimmen und Sinken“ im Sachunterricht der Grundschule, in: K. Spreckelsen, A. Hartinger, K. Möller (Hrsg.), Ansätze und Methoden empirischer Forschung zum Sachunterricht, (=Forschungen zur Didaktik des Sachunterrichts, Bd. 5), Verlag Julius Klinkhardt, Bad Heilbrunn, im Druck,