

Die Integration von Repräsentationsformen in den Sachunterricht der Grundschule

1 Einleitung

Der Sachunterricht der Grundschule orientiert sich immer häufiger an Modellen des problemorientierten Lernens mit anspruchsvollen naturwissenschaftlichen Inhalten. Lernen wird hier als Konzeptwechsel verstanden, bei dem Lernende durch aktive Auseinandersetzung mit bestehenden Erklärungsansätzen und Annahmen neue, belastbare kognitive Strukturen aufbauen (Vosniadou et al., 2001). Eine zentrale Anforderung an die Lehrperson stellt dabei die angemessene Strukturierung von Unterrichtsmaterialien und Unterrichtsgespräch dar, die allen Lernenden das Anknüpfen an Präkonzepte und deren inhaltlich angemessene Weiterentwicklung ermöglichen soll. Moderat-konstruktivistische Unterrichtsansätze nutzen Strukturierungshilfen wie Sequenzierung des Unterrichtsstoffes oder kognitiv-strukturierende Gesprächsführung, um die Komplexität von problemorientierten Lernumgebungen zu reduzieren und Bedingungen für Konzeptwechsel auch für Lernende mit ungünstigen Lernvoraussetzungen zu schaffen (Möller et al., 2002). Strukturierungselemente sollten Schülern¹ also sowohl auf inhaltlicher als auch auf diskursiver Ebene angemessene Fokussierungshilfen bieten.

Ausgangspunkt unserer hier beschriebenen Studie ist, dass *visuelle Repräsentationsformen* (wie z.B. das kartesische Koordinatensystem oder Diagramme) die Funktionen inhaltlicher und diskursiver Strukturierung erfüllen.² Auf inhaltlicher Ebene visualisieren Repräsentationsformen die Beziehung zwischen mathematischen Größen, d.h. sie heben bestimmte Größen für den Lernenden hervor, während andere (irrelevante) Variablen nicht repräsentiert werden und somit in den Hintergrund treten (siehe auch Schnotz und Bannert, 1999). So kann beispielsweise im kartesischen Koordinatensystem die Beziehung zwischen Masse und Volumen eines Gegenstandes als mittlere Dichte mit der Steigung des Graphen dargestellt werden, während Dimensionen wie Form oder Oberflächenstruktur nicht repräsentiert werden. Lernende erfahren durch den wiederholten Umgang mit einer Repräsentationsform die Relevanz der dargestellten Größen für ein bestimmtes Inhaltsgebiet, so dass sie diese auch in der Problemsituation selbst stärker wahrnehmen (Clement, 2000; Cox, 1999). Auch auf diskursiver Ebene erleichtert die Nutzung von Repräsentationsformen die Konstruktion von Wissen, da für die Schüler ein gemeinsamer Referenzrahmen etabliert wird (Roth & McGinn, 1998). Dies ist insbesondere bei der Erklärung neuer Phänomene, für die es noch keine gemeinsame Sprache gibt, von Vorteil. Die visuelle Darstellung übernimmt also einen Teil der Kommunikation, indem sie günstige Bedingungen für das gemeinsame Verständnis inhaltlicher Zusammenhänge herstellt.

1 Die Form Schüler soll im Folgenden auch für Schülerinnen stehen.

2 Die Studie wurde gefördert durch Mittel der DFG (Mo 942/1-2; Ste 539/9-2) im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms „Bildungsqualität von Schule“ (BIQUA).

2 Repräsentationsformen im Sachunterricht der Grundschule

2.1 Repräsentationsformen als Werkzeuge für Konzeptwechsel

Es ist insbesondere die Möglichkeit, mit Hilfe von Repräsentationsformen neue Einsichten in naturwissenschaftliche Zusammenhänge zu gewinnen, die diese als Werkzeuge für Konzeptwechsel auszeichnet. Nach Posner et al. (1982) gibt es vier grundsätzliche Bedingungen für Konzeptwechsel. Ein Lernender muss zunächst unzufrieden mit seinem bisher verwendeten Konzept sein; des weiteren muss ihm ein neues, alternatives Konzept zur Verfügung stehen, das verständlich ist, das er für plausibel hält (d.h. auf die zu erklärende Situation bzw. bisher erklärte Phänomene übertragen werden kann) und das sich als fruchtbar erweist (d.h. auf weitere, bisher noch nicht erklärbare Phänomene anwendbar ist). Wichtigste Voraussetzung für die Beachtung von Alternativerklärungen auf Seiten des Lernenden scheint die Erzeugung eines kognitiven Konflikts zu sein, der die Unzufriedenheit mit dem bestehenden Konzept, das oft sehr robust ist, auslösen kann (Chinn & Brewer, 1993).

Koerber (2003) führt anhand des kartesischen Koordinatensystems aus, wie sich Repräsentationsformen auf die vier Bedingungen für Konzeptwechsel übertragen lassen. In ihrer Studie untersuchte sie, wie der Einsatz von Repräsentationsformen Viertklässler dabei unterstützen kann, das „additive Misskonzept“ aufzugeben, nach dem Proportionen fälschlicherweise durch Addition statt Multiplikation der beiden Größen eines Verhältnisses konstruiert werden. Im Koordinatensystem wird die Proportionalität zwischen Verhältnissen dadurch gezeigt, dass Punkte auf einer gemeinsamen Steigungsgeraden, also dem Graphen einer linearen Funktion, liegen. Die Konfrontation mit einer Regelabweichung, z.B. durch Eintragen eines Punktes im Koordinatensystem, der durch Addition statt Multiplikation von Größen zustande kam, kann nun beim Schüler bewirken, dass die bisher verwendete Strategie der Addition hinterfragt wird, also die wichtige Voraussetzung der Unzufriedenheit mit dem bestehenden Konzept erfüllt ist.

Neben der Möglichkeit, die Unzulänglichkeit eines bestehenden Konzepts aufzuzeigen, eröffnet sich dem Lernenden bei der Analyse der Punkte des Graphen im Koordinatensystem auch eine Alternativstrategie. Wird schließlich die neue Strategie der Multiplikation anhand der Koordinaten entdeckt und verständlich gemacht, können auch Plausibilität und Fruchtbarkeit dieses neuen Konzepts zunehmen. Einerseits können beobachtete Phänomene verifiziert, d.h. Mischungen, die mathematisch als proportional erachtet werden, visuell im Koordinatensystem überprüft werden. Andererseits können mit Hilfe der Repräsentationsform Vorhersagen für weitere (Transfer-)Situationen getroffen werden, d.h. neue proportionale Verhältnisse (z.B. für Geschwindigkeit) anhand des Graphen abgeleitet werden.

2.2 Repräsentationsformen als fächerübergreifende Denkwerkzeuge

Die häufige Anwendung von Repräsentationsformen im Unterricht kann nicht nur Konzeptwechsel in naturwissenschaftlichen Inhaltsgebieten unterstützen, sondern auch ein Werkzeug für fächerübergreifendes Denken und Wissenstransfer werden (Stern, Aprea & Ebner, 2003). Da kulturell etablierte Repräsentationsformen wie das kartesische Koordinatensystem strukturell invariante Merkmale verschiedener Situationen abbilden bzw. zusammenfassen, eignen sie sich besonders zur Unterstützung eines Transfers inhaltlichen Wissens auf neue Anwendungsgebiete. Nach Greeno,

Smith und Moore (1993) beruht Transfer auf der Wahrnehmung von Anforderungs- und Einschränkungsstrukturen (*affordances* und *constraints*), die der Lernsituation und der Transfersituation gemeinsam, d.h. invariant, sind. Wird der Inhalt einer Lernsituation anhand einer Repräsentationsform verdeutlicht, hat ein Lernender nun die Möglichkeit, die strukturellen Invarianzen zwischen unterschiedlichen Situationen zu erkennen und zu belegen. Repräsentationsformen fungieren dann als Denkwerkzeuge, deren (routinierte) Anwendung beim Lernenden die Abstraktion von situationsübergreifenden Prinzipien unterstützt.

Damit Schüler Repräsentationsformen als Denkwerkzeuge verwenden lernen, sollten sie ihnen in einer Vielzahl von Lernsituationen möglichst schon in der Grundschule begegnen. Wenn Schüler Repräsentationsformen auch über die Lernsituation hinaus als sinnvolles Werkzeug zum Problemlösen erachten sollen, dürfen diese nicht nur als illustratives Beiwerk eingeführt werden; sie sollten im Gegenteil zur Modellierung und Lösung von anspruchsvollen Aufgaben bzw. zur Unterstützung von Konzeptwechseln herangezogen werden. Wie auch die Forschung zur Entwicklung metakognitiver Strategien zeigt (Veenman, Wilhelm & Beishuizen, 2004), ist die Einführung von Repräsentationsformen in konzeptuell anspruchsvollen Inhaltsgebieten für die Realisierung ihres Transferpotenzials essentiell und bedingt sich oft gegenseitig. Wird nämlich eine inhaltlich anspruchsvolle Fragestellung oft am besten anhand einer visuellen Darstellung verstanden, beinhaltet der Umgang mit dieser Repräsentationsform gleichzeitig die Möglichkeit eines Transfers auf neue Inhalte.

2.3 Die Unterscheidung zwischen vorgegebenen und selbstkonstruierten Repräsentationsformen

Werden Repräsentationsformen als Werkzeuge für Konzeptwechsel und Transfer im Unterricht eingesetzt, ist eine für die Schüler verständliche Funktions- und Interpretationsweise für eine erfolgreiche Nutzung ausschlaggebend. Es geht also auch darum, inwieweit Regeln der Interpretation erst etabliert werden müssen oder aber auf intuitive Interpretationsmechanismen der Lernenden zurückgegriffen werden kann. Nur bei verständlicher Darstellung der neuen Zusammenhänge kann ein kognitiver Umstrukturierungsprozess ausgelöst werden, der in der lebensweltlichen Erfahrung der Schüler verankert ist (siehe hierzu auch Martschinke, 1996). Repräsentationsformen unterscheiden sich hinsichtlich der Offensichtlichkeit, mit der für Lernende diese essentielle Verbindung zum Alltagsverständnis geschaffen wird. Ein wichtiger Unterschied zwischen Repräsentationsformen betrifft dabei die Verwendung von vorgegebenen, d.h. kulturell etablierten Repräsentationsformen wie dem Koordinatensystem oder aber von den Schülern selbst erstellten visuellen Darstellungen. Die Selbstkonstruktion kann für das konzeptuelle Verständnis von Vorteil sein, da hierbei neue Strategien „direkt“ aus dem bestehenden Situationsverständnis generiert werden (Lehrer & Schauble, 2000; Stern, Hardy & Koerber, 2002; van Dijk, Oers & Terwel, 2003).

Geht man davon aus, dass ein Lernender ein zunächst unvollständiges Situationsverständnis in die Lernsituation mitbringt, ist die Wahl der Repräsentationsart auf verschiedenen Ebenen bedeutsam. Bei der Verwendung einer kulturell etablierten Repräsentationsform werden Größen und deren Beziehungen in relevanter, d.h. mathematisch korrekter, Weise dargestellt. Beispielsweise wird im Koordinatensystem für das Konzept der Dichte das Verhältnis von Masse und Volumen eines Gegenstandes visualisiert. Werden Lernende hingegen dazu angehalten, selbst eine Repräsentations-

form für Dichte zu entwerfen, wird ein Schüler, der nur auf die Masse eines Gegenstandes achtet, vornehmlich diese visualisieren, d.h. zunächst nicht die Gelegenheit erfahren, die bisher unbeachtete Größe des Volumens in sein bestehendes Verständnis zu integrieren. Selbstkonstruierte Repräsentationsformen beinhalten also die für den Lernenden wichtigen Elemente der Problemsituation, nicht notwendigerweise auch die mathematisch oder physikalisch korrekten Variablen und Beziehungen. Die Interpretierbarkeit selbstkonstruierter Repräsentationsformen für andere Mitschüler ist demnach durch ihren oft idiosynkratischen Charakter eingeschränkt – ihre Bedeutung kann sich erst im Gespräch erschließen. Allerdings werden auch bei kulturell etablierten Repräsentationsformen die Regeln der Interpretation zumeist erst durch geeignete Aktivitäten und Fokussierungshilfen erworben.

Aus der Gegenüberstellung der Inhalte und der Interpretierbarkeit vorgegebener und selbstkonstruierter Repräsentationsformen folgt, dass ihre unterrichtliche Nutzung eine unterschiedliche Schwerpunktsetzung erfordert. Der Umgang mit vorgegebenen Repräsentationsformen birgt die Gefahr, dass Lernende Inhalte nur mechanisch, durch Anwendung von Konstruktions- und Interpretationsregeln, abbilden, ohne eine Beziehung zwischen Elementen der Repräsentation und der repräsentierten Problemsituation herzustellen (van Dijk, Oers & Terwel, 2003) – die Nutzung wird dann zum Selbstzweck und inhaltsleer. Andererseits steht die Lehrperson bei der Selbstkonstruktion von Repräsentationsformen vor der wichtigen Herausforderung, den Darstellungen nach und nach ihren idiosynkratischen Charakter zu nehmen und sie den mathematisch und physikalisch relevanten Größen der Problemsituation anzunähern. Gravemeijer (1999) spricht hier von der Entwicklung von *representation of* (einer spezifischen Situation) zu *representation for* (als Modell, das die strukturellen Beziehungen darstellt, die über verschiedene Situationen hinweg Gültigkeit haben).

3 Die Nutzung von Repräsentationsformen für den Unterrichtsinhalt „Schwimmen und Sinken“

3.1 Für Grundschul Kinder angemessene Repräsentationsformen

In der hier beschriebenen Unterrichtsstudie untersuchten wir die Nutzung von vorgegebenen und selbstkonstruierten Repräsentationsformen bei Drittklässlern für die Darstellung von Dichte im Themengebiet „Schwimmen und Sinken“. Es ist davon auszugehen, dass die Nutzung von Repräsentationsformen für dieses Themengebiet besonders geeignet ist, da Kinder eine Vielfalt von (oft nicht belastbaren) Präkonzepten in die Lernsituation mitbringen und somit im Unterricht Konzeptwechsel angeregt werden sollten (Möller, 1999; Smith, Carey & Wisner, 1985). Neben der Auftriebskraft ist das Dichtekonzept zur Erklärung des Schwimmen und Sinkens von Gegenständen essentiell. Wenn Repräsentationsformen im Unterricht angemessen eingesetzt werden, ist also zu erwarten, dass bei Drittklässlern Konzeptwechsel in Bezug auf das Verständnis von Schwimmen und Sinken angeregt werden.

Das Dichtekonzept, das die proportionale Beziehung zwischen Masse und Volumen eines Gegenstandes beinhaltet, kann nicht nur anhand einer Vielzahl von kulturell etablierten Repräsentationsformen dargestellt werden. Es ist auch, bei geeigneter gegenständlicher Erfahrbarkeit, vielen Kindern intuitiv zugänglich und ist somit zur Selbstkonstruktion von Repräsentationsformen geeignet. Als eine besonders für Grundschul Kinder geeignete vorgegebene Repräsentationsform hat sich in anderen

Untersuchungen zum proportionalen Denken die Balkenwaage erwiesen (Koerber, 2003). Die Balkenwaage ist durch das Gleichgewichtsprinzip in ihrer Funktionsweise leichter verständlich als andere kulturell etablierte Repräsentationsformen (siehe diSessa, 1993), und durch physische Manipulierbarkeit sind Ursache-Wirkungs-Beziehungen direkt erfahrbar. Wird sie zur Veranschaulichung des Dichtekonzepts herangezogen, werden auf einer Seite Steine aufgesteckt, die das Volumen eines Gegenstandes repräsentieren und auf der anderen Seite Steine für die Masse. Durch Verdoppeln der Steine auf jeder Seite kann ein größerer Gegenstand gleichen Materials gezeigt werden, wobei der Balken im Gleichgewicht bleibt (ausführlichere Beschreibung im Methodenteil).

3.2 Konzeptuelles Verständnis von Schwimmen und Sinken

Forschungsergebnisse aus Interviews haben gezeigt, dass sich Erklärungsansätze zum Schwimmen und Sinken bei vielen Kindern sowohl im Grundschulalter als auch noch in der Sekundarstufe oft durch eindimensionale Fokussierung auszeichnen (Möller, 1999; Smith, Carey & Wiser, 1985). Diese als Fehlkonzepte eingestuften Erklärungen enthalten das Beachten einer einzigen Dimension, z.B. der Fokussierung auf den Aspekt der Masse („alles, was leicht ist, schwimmt“), des Volumens („große Gegenstände gehen unter“) oder der Form („alles mit Löchern sinkt“), um das Schwimmen und Sinken vorherzusagen. Auf einem nächsten Niveau können Erklärungen mit Alltagskonzepten eingeordnet werden. Hier wird beispielsweise das Material beachtet („alles aus Holz schwimmt“), der Unterschied zwischen Voll- und Hohlkörpern oder die Rolle des Wassers („es schwimmt, weil es leichter ist als das Wasser“). Bei einer Erklärung mit qualitativem Vergleich werden bereits die beiden Größen von Masse und Volumen berücksichtigt, wie beispielsweise in Beschreibungen von Gegenständen, die „schwer für ihre Größe“ sind. Auf einem physikalisch korrekten Niveau schließlich wird die Dichte des Gegenstandes explizit mit dem von ihm verdrängten Wasser verglichen bzw. die Auftriebskraft und Gewichtskraft in Beziehung gesetzt. In anderen Studien (Möller et al., 2002) zeigte sich, dass Grundschul Kinder, die an einer Unterrichtseinheit zum Schwimmen und Sinken nach moderat konstruktivistischen Lehr-Lernprinzipien teilgenommen hatten, sowohl ihre Fehlkonzepte signifikant reduzieren konnten als auch die Anzahl an wissenschaftlichen Erklärungen mit Dichte und Auftrieb signifikant steigerten.

4 Empirische Untersuchung

4.1 Fragestellung und Hypothesen

In unserer Studie untersuchten wir, welchen Effekt vorgegebene Repräsentationsformen (in Form der Balkenwaage) und selbstkonstruierte Repräsentationsformen auf das *konzeptuelle Verständnis* von „Schwimmen und Sinken“ und das *proportionale Verständnis* von Drittklässlern haben. Selbstkonstruierte Repräsentationsformen knüpfen an intuitive Vorstellungen von der Dichte verschiedener Materialien an, setzen aber Volumen und Masse (Größe und Gewicht in der Sprache der Kinder) oftmals lediglich qualitativ in Beziehung. Die Balkenwaage hingegen erlaubt die Integration der Größen Masse und Volumen sowohl auf mathematische Weise (durch Aufstecken der Steine und ihr Verdoppeln und Verdreifachen) als auch auf visuelle Weise (durch Heben und

Senken des Balkens bzw. sein Gleichgewicht). Wir erwarteten deshalb, dass die mit der Balkenwaage unterrichteten Kinder ein stärker mathematisch integriertes konzeptuelles Verständnis der Dichte im Kontext von Schwimmen und Sinken entwickeln als die Kinder mit selbstkonstruierten Repräsentationen. Die Unterstützung der mathematischen Integration durch die Balkenwaage sollte sich auch beim proportionalen Denken in neuen Kontexten zeigen.

Um auszuschließen, dass der Einsatz von Repräsentationsformen für das Thema „Schwimmen und Sinken“ mit Einschränkungen im konzeptuellen Verständnis der Kinder verbunden ist, wurden zudem zwei Gruppen mit Unterricht zum Schwimmen und Sinken ohne Repräsentationsformen als Vergleichsgruppen herangezogen (siehe Möller et al., 2002).

4.2 Methode

4.2.1 Stichprobe

Der Unterricht wurde von Angela Jonen in vier Klassen des dritten Schuljahres (N=98) durchgeführt, die hinsichtlich der Klassengröße, des Einzugsgebietes und der Vorerfahrungen mit naturwissenschaftlichen Themen des Sachunterrichts vergleichbar sind. Die Klassen wurden zufällig den Gruppen zugeordnet (Balkenwaage: 24 Mädchen, 24 Jungen; Selbstkonstruierte Repräsentationsformen: 30 Mädchen, 20 Jungen). Der Unterricht wurde von einer weiteren Person beobachtet und mit Fotos dokumentiert. Abweichungen zur Planung wurden schriftlich festgehalten.

4.2.2 Erhebungsinstrumente

Konzeptuelles Verständnis

Test zum Schwimmen und Sinken:

Der Test zum Schwimmen und Sinken umfasst insgesamt 8 Multiple-Choice-Items ($\alpha = .73$). Die Fragen beziehen sich auf typische Präkonzepte von Drittklässlern (nicht belastbare Konzepte wie Gewichtskonzept, Größenkonzept, Formkonzept, Luftkonzept), auf belastbare Konzepte (wie Materialkonzept, Hohlkörperkonzept) und auf physikalische Vorkonzepte (Verdrängung, Dichtevergleich, Auftrieb). Zur Auswertung wurde ein Summenwert berechnet, der sowohl die korrekte Ablehnung von Fehlkonzepthen als auch die Annahme von physikalischen Erklärungen und Alltagserklärungen bepunktet. Des weiteren wurden drei einzelne Summenwerte zu Fehlkonzepthen, Alltagserklärungen und physikalischen Erklärungen gebildet, um Antwortmuster bestimmen zu können. Beispielitems finden sich bei Möller et al. (2002) und Stern et al. (2001).

Transfertest zum Schwimmen und Sinken:

Der Transfertest, der nur als Posttest eingesetzt wurde, bestand aus 6 Multiple-Choice Fragen ($\alpha = .60$). Die Fragen bezogen sich auf die Anwendung des Dichtekonzepts in neuen, nicht im Unterricht behandelten Kontexten.

Proportionales Denken

Für die Inhaltsgebiete Geschwindigkeit, Mischverhältnisse und Dichte wurden jeweils sechs Items entwickelt, welche die Konstruktion von Verhältnissen erfordern. Basierend auf numerischen Angaben zu Zeit und Strecke, Anteilen von verschiedenen Limonaden in einer Mischung und Volumen und Masse eines Materials mussten entsprechend dem vorgegebenen Verhältnis Zeiten für längere Strecken, die Anzahl an Gläsern für größere Behälter und Massen für größere Blöcke des selben Materials eingesetzt werden. Der Test wurde vor und nach dem Unterricht vorgegeben. Die Reliabilität der drei Skalen ist mit $\alpha = .68$ (Geschwindigkeit), $\alpha = .63$ (Mischverhältnisse) und $\alpha = .70$ (Dichte) zufriedenstellend.

Manipulation Check: Test zum Verständnis der Repräsentationsformen

Um sicher zu stellen, dass die grundlegenden Prinzipien im Umgang mit der Balkenwaage verstanden wurden, wurde ein drei Items umfassender Test konstruiert. Hierbei wurde jeweils anhand von Volumen- und Massenklötzen ein bestimmtes Material dargestellt. Aufgabe der Schüler war es nun, unter Berücksichtigung der Verdopplung einer oder beider Dimensionen entweder die korrekte Antwortalternative, dargestellt auf einer Balkenwaage, herauszufinden (Balkenwaagengruppe) oder selbst eine angemessene Repräsentationsform zu zeichnen (Selbstkonstruktionsgruppe).

4.2.3 Beschreibung des Unterrichts

Verwendete Repräsentationsformen

Für die im Unterricht in Partnerarbeit verwendete Balkenwaage werden zur Darstellung von Volumen Duplosteine und zur Darstellung von Masse die kleineren Legosteine benutzt. Um unterschiedliches Material darzustellen, wird der Volumenstein zunächst so auf einer Seite des Balkens fixiert, dass der Balken bei Verwendung eines Legosteins auf der anderen Seite im Gleichgewicht ist. Um ein Material gleichen Volumens, aber größerer Masse darzustellen, muss die Position der Legosteine so adjustiert werden, dass der Balken wiederum im Gleichgewicht ist. So ergeben sich für unterschiedliche Materialien unterschiedliche Positionen auf der Massenseite des Balkens. Wird ein größerer Materialblock dargestellt, werden sowohl Volumenstein als auch Massensteine verdoppelt, so dass der Balken bei der gleichen Materialposition im Gleichgewicht bleibt.

In den zwei Klassen mit Selbstkonstruktion erhielten die Kinder verschiedene Materialien (z.B. Papier und Stift, Schachteln, Klötzchen, Pappquadrate, Moosgummi, unterschiedlich farbige Pappen und Holzklötze) zur Darstellung des Volumens und der Masse von Würfeln aus unterschiedlichen Materialien (Beispiele siehe Abb. 1 und 2). Die unterschiedlichen Lösungen wurden vorgestellt und im Gruppengespräch diskutiert. Die Aufgaben, die die Kinder mit Hilfe ihrer selbst entwickelten Repräsentationsformen lösen sollten, entsprachen denen der Balkenwaagengruppe.

Unterrichtsablauf

Für den Unterricht wurden Elemente des bereits erprobten moderat konstruktivistischen Unterrichts zum Schwimmen und Sinken zur Entwicklung des Materialkonzepts, der Verdrängung und der Dichte übernommen (Möller et al., 2002) und mit Sequenzen zum Umgang mit der jeweiligen Repräsentationsform ergänzt. Es resultierte eine Unterrichtssequenz von 11 Unterrichtsstunden (5 Doppelstunden und

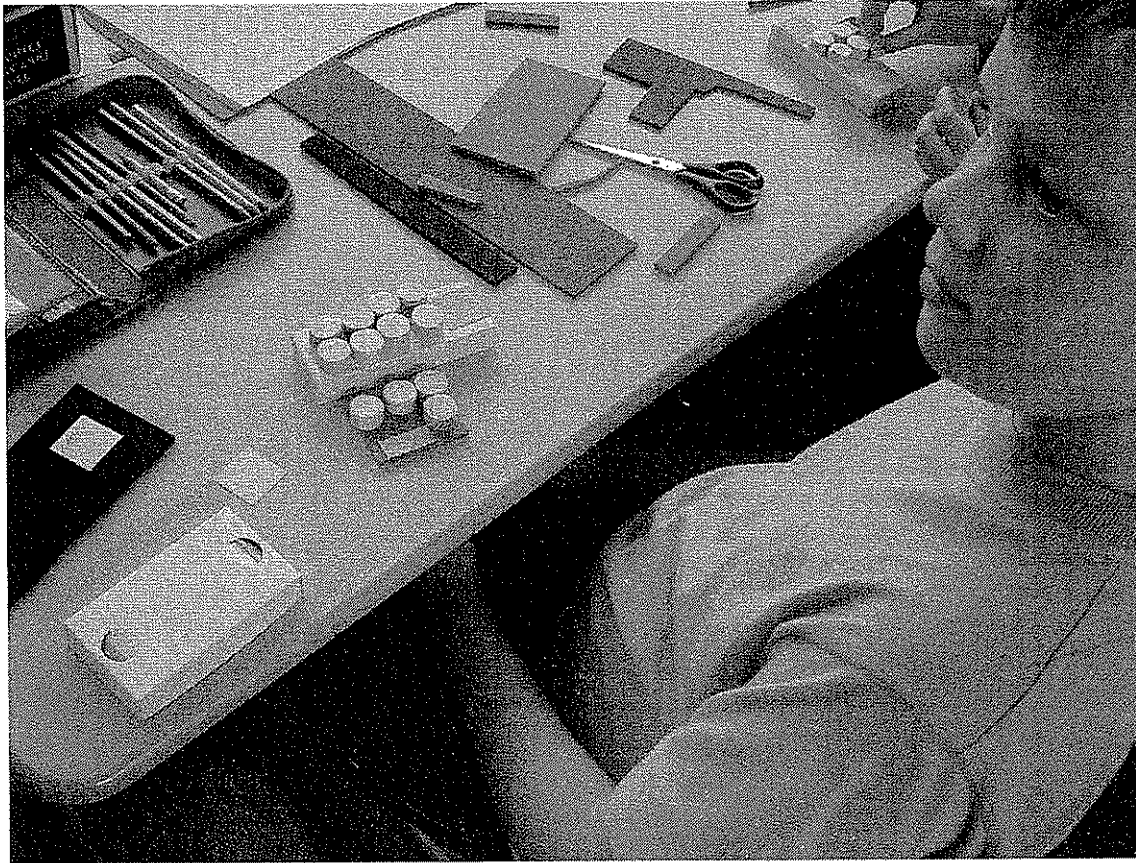


Abb 1: Repräsentation des Gewichts durch Holzplättchen und der Größe durch Größe der Unterlage.

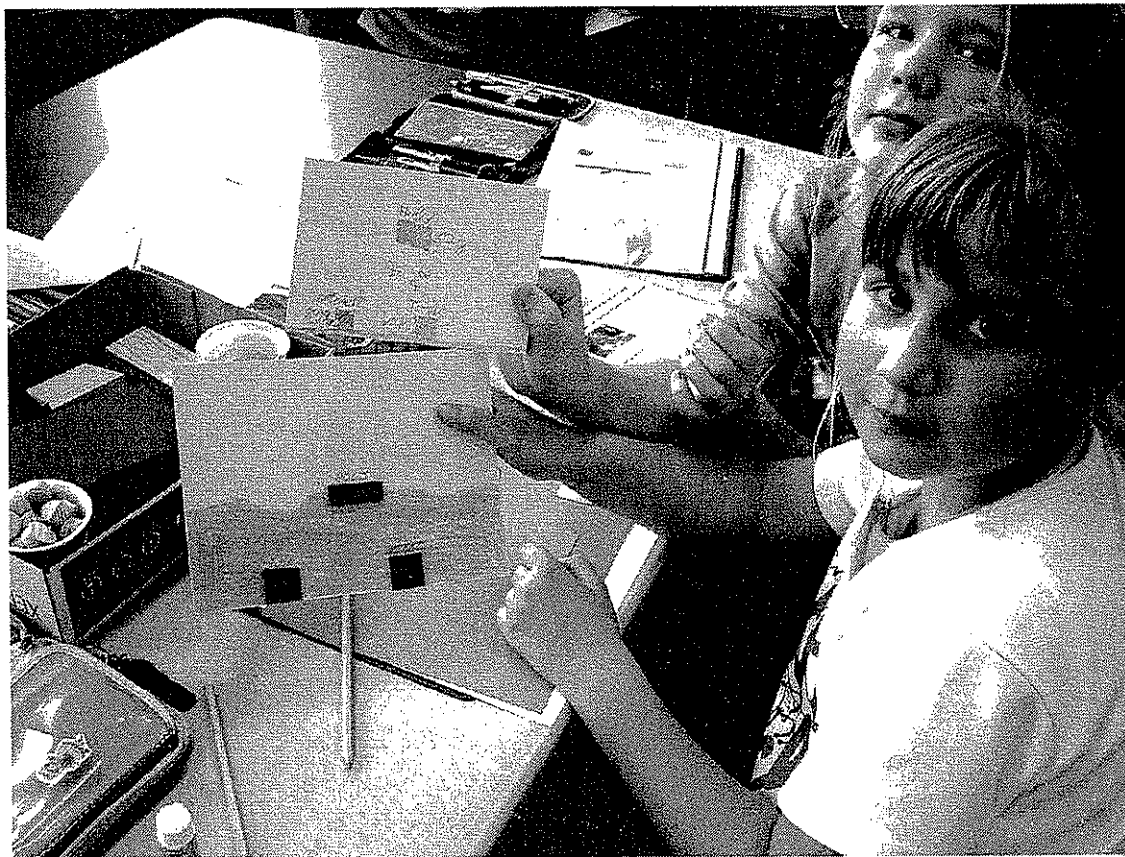


Abb. 2: Repräsentation Würfel unterschiedlichen Materials durch Verhalten in Wasser und unterschiedlich starke Schraffur.

eine Einzelstunde), die im Labor mit Gruppen von 8 Kindern und in zwei Pilotstudien im Unterricht erprobt wurde. Der Unterricht beginnt mit der Vorbereitungsstunde „Von der Wippe zur Waage“, da sich in den ersten Erprobungen des Unterrichts herausstellte, dass die Kinder im Klassenverband Defizite hinsichtlich des Umgangs mit der Balkenwaage sowie generell der Nutzung von Repräsentationsformen hatten. In dieser Stunde wird ausgehend von der Wippe als ein den Kindern aus der Alltagswelt bekanntes Spielgerät die Funktion und Handhabbarkeit der Balkenwaage entwickelt sowie die Möglichkeit zum Nachspielen von Alltagssituationen auf der Wippe – mit Legosteinen zur Darstellung von kleinen Kindern und Duplosteinen zur Darstellung von großen Kindern – als Schritt hin zur Nutzung von Repräsentationsformen reflektiert.

In der ersten Doppelstunde stehen Aktivitäten zur Entwicklung des Materialkonzepts im Mittelpunkt. Die Schüler bilden Hypothesen über das Verhalten von unterschiedlichen Gegenständen im Wasser, überprüfen ihre Vermutungen an Versuchsstationen und reflektieren ihre Beobachtungen gemeinsam mit der Lehrerin. In der zweiten Doppelstunde werden u.a. verschiedene Materialien gleichen Volumens, aber unterschiedlicher Masse miteinander verglichen und die Dichte als der wichtige Unterschied zwischen Materialien herausgearbeitet. In der dritten Doppelstunde kommen die Repräsentationsformen zum Einsatz – hier unterscheidet sich der Unterricht in den Gruppen zum ersten Mal. Während in der einen Unterrichtsgruppe Dichtevergleiche mit der Balkenwaage vorgenommen werden, entwickeln die Kinder in der Selbstkonstruktionsgruppe eigene Repräsentationsformen. In beiden Unterrichtsgruppen arbeiten die Kinder paarweise an Aufgaben, deren Ergebnisse an verschiedenen Punkten aufgegriffen und reflektiert werden. Die vierte Doppelstunde fokussiert die Verdrängung. Hier arbeiten die Kinder an verschiedenen Stationen, um Verdrängung als abhängig vom Volumen eines Gegenstandes zu erfahren und das verdrängte Wasser eines Gegenstandes genau zu bestimmen. In der fünften Doppelstunde kommt wiederum die jeweilige Repräsentationsform zum Einsatz. Die Kinder nutzen nun ihre Repräsentationsformen, um Dichtevergleiche mit verdrängtem Wasser vorzunehmen und das Schwimmverhalten von unbekanntem Material vorherzusagen.

Erläuterungen zur Verwendung der Repräsentationsformen

In der zweiten Doppelstunde zum Materialvergleich werden Einheitswürfel aus unterschiedlichen Materialien eingeführt, die von den Kindern mit Hilfe einer Massenbestimmung in eine Reihenfolge von leichtem zu schwerem Material gebracht werden. Dies wird an der Tafel mit Karten festgehalten. Den Würfeln wird dann ihre jeweilige Masse zugeordnet. In der Balkenwaagengruppe werden der Materialreihe zusätzlich Legosteine von 1 bis 7 zugeordnet, die ihre zunehmende Masse symbolisieren sollen. Außerdem werden die Duplosteine als Repräsentation des Volumens eingeführt.

Ein Arbeitsauftrag für Partnerarbeit zur Nutzung der Balkenwaage in der Stunde zum Materialvergleich und zur Dichte lautete:

Zeigt zuerst den kleinen Holzklötz und dann den kleinen Metallklötz auf der Balkenwaage.

Die Duplosteine sollen die Größe zeigen und die Legosteine zeigen das Gewicht.

Woran seht ihr, welcher Klötz aus dem leichteren Material ist?

Ein Arbeitsauftrag zum gleichen Inhalt in der Selbstkonstruktionsgruppe lautete:

Versucht, mit einem Bild, mit Plättchen oder mit anderen Dingen diesen kleinen Holzklötz und kleinen Metallklötz zu zeigen. Man muss die Größe und das Gewicht

sehen und vergleichen können. (Damit man weiß, welcher Würfel aus dem leichteren Material ist.)

5 Beobachtungen zur Implementation der Repräsentationsformen

5.1 Balkenwaage

Didaktische Vorbemerkungen

Die Anfertigung der Balkenwaagen für eine gesamte Grundschulklasse bedeutete einen beträchtlichen Materialaufwand. Für eine fächerübergreifende Nutzung der Balkenwaage sollte sie von den Kindern selbst im Werkunterricht gebaut werden und in den Fächern Mathematik und Sachunterricht mehrfach zur Anwendung kommen.

Integration in den Unterrichtsablauf

Es stellte sich heraus, dass für eine reibungslose Integration der Balkenwaage in die Unterrichtssequenz zum Schwimmen und Sinken eine einführende Stunde zur Balkenwaage notwendig war („Von der Wippe zu Waage“, siehe 4.2.3). Ohne Vorerfahrungen der Kinder sowohl mit der Handhabung der Balkenwaage, die genaues Arbeiten erfordert, als auch mit deren Nutzung zum Wiegen und Repräsentieren (von Volumen, Masse und Material) war eine Nutzung in selbständiger Partnerarbeit oft schwierig.

Werkzeug zum Konzeptwechsel

Es zeigte sich, dass die Kinder bei Partnerarbeiten das Prinzip der Proportionalität häufig selbst entdeckten, d.h. sie erkannten, dass auf beiden Seiten des Balkens um den gleichen Faktor erweitert werden muss, wenn das gleiche Material dargestellt wird. Da der Balken durch das erhaltene Gleichgewicht sofort Rückmeldung gibt, konnte die proportionale Erweiterung direkt in der Handlung umgesetzt und überprüft werden. Des weiteren stellte sich die wiederholte Vergegenwärtigung der Symbolfunktion der verwendeten Lego- und Duplosteine für Masse und Volumen als wichtig heraus, da sich das Arbeiten mit der Balkenwaage ansonsten für einige Kinder zum mechanischen Vergleichen von Steinen und Balkenpositionen wandelte.

5.2 Selbstkonstruierte Repräsentationsformen

Didaktische Vorbemerkungen

Im Vergleich zur Balkenwaage ist der Materialaufwand zur Erstellung von selbstkonstruierten Repräsentationsformen relativ gering. Aufgrund von Pilotstudien konnte das Potenzial einiger Materialien (z.B. Plättchen) in Bezug auf das Anknüpfen an intuitive Vorstellungen zur Dichte bereits bei der Materialauswahl berücksichtigt werden. Wichtig ist, eine Vielzahl von Materialien zur Verfügung zu stellen, um den Kindern zu ermöglichen, ihre oft sehr kreativen Ideen zu verwirklichen. Essentiell für die Selbstkonstruktion von Repräsentationsformen ist eine deutliche Aufgabenstellung, die von uns in den Pilotstunden optimiert wurde. Da den meisten Kindern die Bedeutung von Symbolik bzw. visueller Repräsentation noch nicht bekannt ist, müssen Formulierungen gefunden werden, die verständlich sind, ohne die Kinder auf eine bestimmte Form der Repräsentation festzulegen (siehe 4.2.3).

Integration in den Unterrichtsablauf

Bei verständlichen Formulierungen des Arbeitsauftrags sind Vorerfahrungen mit Repräsentationsformen nicht notwendig; dennoch ist es sicherlich hilfreich, auf andere Formen der Repräsentation beispielhaft zurückgreifen zu können. Die Integration der Repräsentationsaktivitäten in den Unterrichtsablauf verlief dementsprechend unproblematisch. Wie erwartet stellte sich als essentiell für die Weiterentwicklung der selbst-konstruierten Repräsentationsformen deren Diskussion im Gruppengespräch und die Einigung auf Gütekriterien heraus. Dieses erwies sich insbesondere im Hinblick auf die Weiterentwicklung von qualitativen Repräsentationen der Dichte (z.B. durch Schraffieren) zu quantitativen Darstellungen als notwendig. Nur wenn die Masse, neben dem Volumen, quantitativ abgebildet wird, kann die proportionale Beziehung zwischen beiden Größen entdeckt werden. Infolgedessen wurden in unserem Unterricht folgende Gütekriterien entwickelt: Sowohl das Volumen als auch die Masse müssen so dargestellt sein, dass ein anderer Schüler erschließen kann, welches Material abgebildet wurde (siehe Abb. 3).

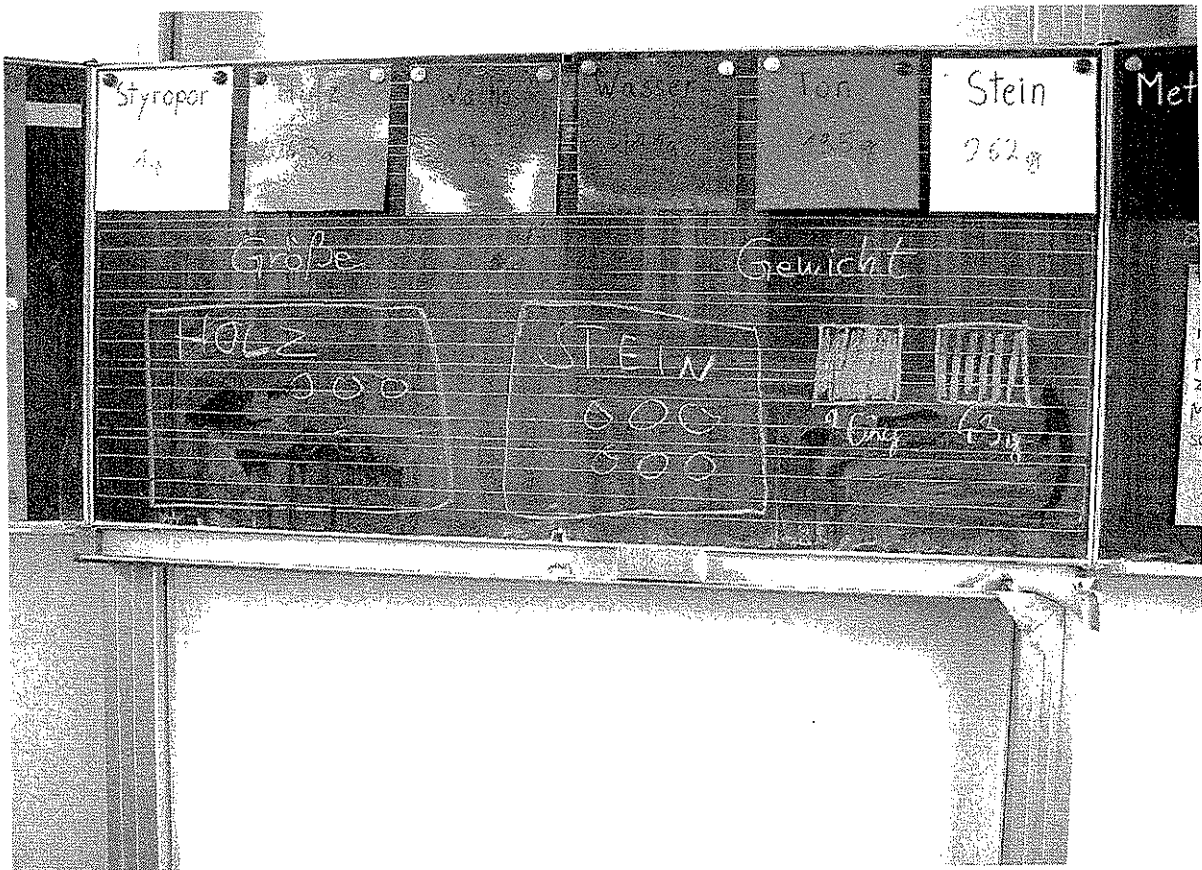


Abb. 3: *Zeichnung linke Seite:* Repräsentation der Größe durch Kästchengröße und des Gewichts durch Kreise. Nach Diskussion entstand Einigung für die Anzahl der Kreise entsprechend der Reihenfolge der Materialwürfel in der Reihe darüber, also nur zwei Kreise für Holz und sechs Kreise für Stein. *Zeichnung rechte Seite:* Repräsentation der Größe durch Kästchengröße und des Gewichts durch unterschiedlich starke Schraffur. Nach der Diskussion wurde das Gewicht noch zusätzlich unter die Würfel geschrieben, um das Material identifizieren zu können.

Werkzeug zum Konzeptwechsel

Das Besprechen der proportionalen Beziehung von Masse und Volumen musste in der Selbstkonstruktionsgruppe häufig von der Lehrerin angeregt werden, da die von den Kindern entwickelten Repräsentationen selten das spontane Entdecken der Proportionalität ermöglichten. Dies liegt einerseits daran, dass von den Kindern häufig zunächst qualitative Repräsentationsformen der Dichte entwickelt wurden und die Gütemaßstäbe erst nach und nach etabliert wurden. Andererseits stellte das Wahrnehmen der Vervielfachung des Volumens der Einheitswürfel (d.h. der Vergleich zwischen einem kleinem und einem doppelt so großen Block) anfangs für einige Kinder eine Schwierigkeit dar, da sie nur zwischen „kleinen“ und „großen“ Blöcken unterschieden. Die Balkenwaage hingegen regt durch ihre Verwendung von einem, zwei oder drei Duplosteinen für unterschiedliches Volumen von Anfang an zu numerischen Vergleichen an.

6 Ergebnisse

6.1 Effekte der Repräsentationsformen für konzeptuelles Verständnis

Eine 2 (Zeit) x 2 (Gruppe) Varianzanalyse mit Messwiederholung auf dem ersten Faktor zeigte einen signifikanten Zugewinn im Summenwert des Tests zum Schwimmen und Sinken ($F(1, 93) = 124.79, p < .001, \eta^2 = .63$). Die Interaktion von Zeit x Gruppe ist nicht signifikant. Beide Unterrichtsgruppen verbesserten sich signifikant von Prätest zu Posttest ($p < .01$). Eine 2 (Zeit) x 2 (Gruppe) MANOVA mit den Summenwerten für Fehlkonzepte, Alltagserklärungen und physikalischen Erklärungen zeigte einen signifikanten Effekt für Zeit ($F(3,91) = 57.08; \text{wilk's } \lambda = .35, p < .001$). Follow-up Varianzanalysen bestätigen für alle drei Summenwerte einen signifikanten Unterschied von Prätest zu Posttest (Fehlkonzepte: $F(1, 93) = 57.84, p < .001, \eta^2 = .383$; Alltagserklärungen: $F(1, 93) = 70.63, p < .001, \eta^2 = .432$; physikalische Erklärungen: $F(1, 93) = 4.06, p = .047, \eta^2 = .042$). Tabelle 1 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen der Summenwerte. Die Effektstärken lassen darauf schließen, dass der Zugewinn im Summenwert des Tests zum Schwimmen und Sinken hauptsächlich auf den Abbau von Fehlkonzepten und den Aufbau eines Materialverständnisses zurückzuführen ist. Auch im Transfertest, der nur als Nachtest vorgegeben wurde, zeigten sich keine Gruppenunterschiede (Balkenwaagengruppe $M=10,50, SD=2,77$, Selbstkonstruktionsgruppe: $M=10,24, SD=2,72$).

Tab. 1: Mittelwerte (Standardabweichungen) im Test zum Schwimmen und Sinken

Skalenwert	Zeitpunkt	Balkenwaage		Selbstkonstruiert	
		M	S	M	S
Allg. Summenwert	Prä	43,02	6,11	42,4	8,31
	Post	52,49	6,8	53,86	8,34
Fehl-Konzepte	Prä	18,73	5,04	18,14	6,46
	Post	14,73	4,68	13,52	5,73
Physikalische Erklärungen	Prä	7,87	3,63	6,96	4,28
	Post	8,73	3,65	7,92	4,33
Alltags-Konzepte	Prä	6,93	2,13	6,58	2,58
	Post	8,87	1,38	9,26	2,0

Um abzusichern, dass die Verwendung von Repräsentationsformen nicht zu Einbußen im konzeptuellen Verständnis der Schüler führte, wurden die beiden Unterrichtsgruppen mit den beiden Experimentalgruppen einer weiteren Schulstudie (Möller et al., 2002) verglichen, die eine in einen größeren Kontext eingebettete Unterrichtseinheit zum Schwimmen und Sinken mitgemacht hatten. Die Klassen der Vergleichsgruppe sind hinsichtlich Einzugsgebiet und Vorerfahrungen mit den Klassen der hier berichteten Studie vergleichbar. Die Effektstärken des Faktors „Zeit“ (Prä-Post) zeigen ähnliche Werte für die beiden Repräsentationsgruppen und die Unterrichtsgruppen ohne Repräsentationsformen, mit Cohen's d (Balkenwaage) = 1.33; d (Selbstkonstruiert) = 1.38; d (Vergleichsgruppen) = 1.95. Nach Cohen (1988) gelten Effektstärken von $d > .8$ als groß.

6.2 Effekte der Repräsentationsformen für proportionales Denken

Um die Vergleichbarkeit der Gruppen zu gewährleisten, wurden die Prätestwerte der Gruppen in den drei Inhaltsgebieten Dichte, Geschwindigkeit und Mischverhältnisse einer varianzanalytischen Prüfung unterzogen. Die Mittelwerte unterscheiden sich jeweils nicht signifikant.

Eine 2 (Zeit) x 2 (Gruppe) MANOVA mit den abhängigen Variablen Summenwert Dichte, Summenwert Geschwindigkeit und Summenwert Mischverhältnisse ergab einen signifikanten Effekt für Zeit ($F(3, 93) = 3.10$, Wilk's $\lambda = .91$; $p < .05$) und eine signifikante Zeit x Gruppe Interaktion ($F(3, 93) = 3.87$; Wilk's $\lambda = .89$; $p < .05$). Follow-up ANOVAs mit den einzelnen Summenwerten zeigten im Inhaltsgebiet *Dichte* einen signifikanten Effekt für Zeit ($F(1, 95) = 4.07$, $p < .05$) und Zeit x Gruppe ($F(1, 95) = 5.06$, $p < .05$), mit M (Balkenwaage, Prä) = 3.08 (1.99); M (Balkenwaage, Post) = 3.04 (1.95); M (Selbstkonstruiert, Prä) = 2.88 (1.49); M (Selbstkonstruiert, Post) = 3.69 (1.69). T-Tests ergaben, dass sich die Selbstkonstruktionsgruppe signifikant verbesserte ($p < .01$), während die Balkenwaagengruppe keine Verbesserung zeigte. Eine 2 (Zeit) x 2 (Gruppe) Messwiederholungsanalyse mit dem Summenwert im Inhaltsgebiet *Geschwindigkeit* zeigte einen signifikanten Effekt für Zeit ($F(1, 95) = 8.55$, $p < .01$), mit M (Balkenwaage, Prä) = 3.08 (1.55); M (Balkenwaage, Post) = 3.83 (1.66); M (Selbstkonstruiert, Prä) = 3.57 (1.73); M (Selbstkonstruiert, Post) = 3.88 (1.66). T-Tests ergaben, dass sich die Balkenwaagengruppe signifikant verbesserte ($p < .01$), während die Selbstkonstruktionsgruppe keine Verbesserung zeigte. Eine 2 (Zeit) x 2 (Gruppe) Messwiederholungsanalyse mit dem Summenwert im Inhaltsgebiet *Mischverhältnisse* zeigte einen signifikanten Effekt für Zeit ($F(1, 95) = 4.21$, $p < .05$), mit M (Balkenwaage, Prä) = 2.80 (1.71); M (Balkenwaage, Post) = 2.89 (1.65); M (Selbstkonstruiert, Prä) = 2.67 (1.47); M (Selbstkonstruiert, Post) = 3.41 (1.82). T-tests ergaben, dass sich die Selbstkonstruktionsgruppe signifikant verbesserte ($p < .05$), während die Balkenwaagengruppe keine Veränderung in den Mittelwerten zeigte.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass sich der in der multivariaten Analyse gezeigte Interaktionseffekt nicht eindeutig auf ein Inhaltsgebiet zurückführen lässt und möglicherweise durch unterschiedliche Prätestwerte mitbedingt ist. Während auf allen drei Tests signifikante Zeiteffekte zu verzeichnen sind, wird der Interaktionseffekt lediglich beim Test zur Dichte signifikant. Hier zeigt sich eine Überlegenheit der Selbstkonstruktionsgruppe, die sich durch den Unterricht signifikant verbessert, während sich die Leistung der Balkenwaagengruppe nicht signifikant verändert. Auch im Bereich der Mischverhältnisse ist bei der Selbstkonstruktionsgruppe ein signifikanter An-

stieg der Leistungen zu verzeichnen; die Balkenwaagengruppe hingegen steigerte ihre Leistungen im Bereich der Geschwindigkeiten signifikant von Prä- zu Posttest.

6.3 Manipulation Check

In dem drei Aufgaben umfassenden Test zum Verständnis der Balkenwaage erreichten 29% der Kinder den Maximalwert von 3 Punkten, 31% erzielten 2 Punkte, 33% erzielten 1 Punkt und 7% erzielten 0 Punkte. Im Gegensatz hierzu fiel die Selbstkonstruktion von angemessenen Repräsentationsformen den Kindern schwerer. Hier erreichten 26% 3 Punkte, 16% 2 Punkte, 26% 1 Punkt und 32% 0 Punkte. Ein t-Test ergab, dass sich die beiden Gruppen signifikant zu Gunsten der Balkenwaagengruppe voneinander unterscheiden (M (Balkenwaage) = 2.71 (2.55); M (Selbstkonstruktion) = 1.4 (1.19); $p = .001$). Es ist möglich, dass die Einschränkung der Kinder auf die Verwendung von Papier und Bleistift ihnen bei der Selbstkonstruktion hinderlich war, da während des Unterrichts alternative Repräsentationsformen zum Einsatz kamen.

7 Diskussion der Ergebnisse

Unsere Studie untersuchte den Einsatz von Repräsentationsformen in einer Unterrichtseinheit zum Schwimmen und Sinken. Wir verglichen dabei die Verwendung einer vorgegebenen Repräsentationsform – der Balkenwaage – mit von den Schülern selbstkonstruierten Repräsentationsformen. Wir gingen davon aus, dass beide Arten der Repräsentation das konzeptuelle Verständnis von Schwimmen und Sinken der Schüler verbessern würden. Außerdem war im Sinne der Einführung von Repräsentationsformen als fächerübergreifende Denkwerkzeuge von Interesse, ob die Verwendung der Balkenwaage einen Vorteil für das proportionale Verständnis bringt.

Unsere quantitativen Auswertungen machen deutlich, dass der Umgang mit der Balkenwaage und die Selbstkonstruktion von Repräsentationsformen die Entwicklung des konzeptuellen Verständnisses der Dichte im Kontext von Schwimmen und Sinken gleichermaßen unterstützte. Beide Unterrichtsgruppen verbesserten sich signifikant von Prätest zu Posttest und unterschieden sich nicht in bezug auf den Abbau von Fehlkonzepten und den Aufbau von Alltagserklärungen und physikalischer Konzepte der Dichte und des Auftriebs zur Erklärung des Schwimmen und Sinkens. Ausgehend von den Effektstärken scheinen sich die Kinder jedoch weniger neue physikalische Erklärungen angeeignet zu haben, sondern vielmehr bestehende Fehlvorstellungen aufgeben zu haben. Für Konzeptwechsel ist die Überprüfung von Fehlvorstellungen der Ausgangspunkt jeden neuen Lernens. Der Umgang mit einer Repräsentationsform, sei sie vorgegeben oder selbstkonstruiert, scheint also insbesondere Schüler dabei zu unterstützen, nicht belastbare Vorstellungen, wie etwa die eindimensionale Fokussierung von Masse oder Volumen, einer Prüfung zu unterziehen und diese ggfs. zu verwerfen. Ein Vergleich mit Unterrichtsgruppen einer weiteren Schulstudie, in der Drittklässler mit einem in einen größeren Kontext eingebetteten Curriculum zum Schwimmen und Sinken unterrichtet worden waren (siehe Möller et al., 2002) stellte sicher, dass die Anwendung von Repräsentationsformen nicht zu Einschränkungen im konzeptuellen Bereich führte.

In Bezug auf den Ausbau proportionalen Verständnisses durch den Umgang mit Repräsentationsformen zeigen unsere Ergebnisse, dass, entgegen unserer Annahme, beide Arten der Repräsentation eine Verbesserung proportionalen Verständnisses

ermöglichten und insbesondere die Selbstkonstruktion von Repräsentationsformen das proportionale Verständnis von Dichte förderte. Unsere Hypothese der Überlegenheit der Balkenwaage beruhte auf der Annahme, dass ihre Struktur sowohl numerische als auch visuelle Vergleiche erlaubt und somit ein stärker quantitativ orientiertes konzeptuelles Verständnis fördern wird. Unsere multivariate Auswertung der Leistungen in den drei Inhaltsgebieten Dichte, Geschwindigkeit und Mischverhältnisse ergab einen signifikanten Zeit- und Interaktionseffekt. Während die Selbstkonstruktionsgruppe ihr proportionales Verständnis sowohl im Bereich der Dichte als auch bei Mischungsverhältnissen verbesserte, steigerte die Balkenwaagengruppe ihre Leistungen nur im Bereich der Geschwindigkeiten. Dass insbesondere Schüler der Selbstkonstruktionsgruppe ihr proportionales Verständnis ausbauen konnten, ist wahrscheinlich auf den lehrerinitiierten, konstruktiven Umgang mit den selbst erstellten Repräsentationsformen zurückzuführen. Insbesondere die gemeinsame Erstellung von Gütekriterien hatte eine stärker quantitative Ausprägung der selbstkonstruierten Repräsentationen zur Folge, so dass sich der angenommene Vorteil der Balkenwaage in der simultanen visuellen und quantitativen Darstellung von Verhältnissen gegen Ende der Unterrichtseinheit nivelliert hat. Warum sich die Verbesserung des proportionalen Verständnisses bei der Balkenwaagengruppe im Bereich der Geschwindigkeit und bei der Selbstkonstruktionsgruppe im Bereich der Dichte und der Mischverhältnisse zeigte, bleibt noch offen. Berücksichtigt werden sollten auch die – wenn auch nicht signifikant- unterschiedlichen Prätestwerte zwischen den Gruppen, die einen Vergleich in Bezug auf einzelne Inhaltsgebiete schwierig machen. Festzuhalten bleibt, dass beide Repräsentationsarten Transferpotenzial beinhalten, da die Schüler ihr proportionales Verständnis im Zuge der Nutzung der jeweiligen Repräsentationsformen ausbauen konnten.

8 Didaktische Anmerkungen und Ausblick

Aus unseren Unterrichtsbeobachtungen zur Implementation der beiden Repräsentationsformen ergeben sich unterschiedliche Anforderungen an die Lehrperson. Zunächst ist die Auswahl einer für das Inhaltsgebiet und die Altersgruppe geeigneten Repräsentationsform ausschlaggebend. Wie sich bei der Nutzung der Balkenwaage gezeigt hat, kann eine vom Unterrichtsinhalt getrennte, jedoch keinesfalls inhaltsleere, Einführung der Repräsentationsform nötig sein. Grundsätzlich ist bei einer vorgegebenen Form, die inhaltsfern oder gar mit Regeln der Interpretation eingeführt und geübt wird, die Gefahr der Verselbständigung gegeben, bei der die Handhabung der Repräsentationsform vom Lernenden mental vom repräsentierten Inhaltsgebiet getrennt wird. Bei einer solchen Trennung kann die Repräsentationsform nicht als Werkzeug zum Konzeptwechsel fungieren, da durch die Nutzung der Repräsentationsform gewonnene Erkenntnisse nicht in das konzeptuelle Gesamtverständnis integriert werden. Bei selbstkonstruierten Repräsentationsformen hingegen steht die Lehrperson vor der wichtigen Anforderung der Vorauswahl des Materials und der Formulierung verständlicher Aufgabenstellungen, welche die Schüler dazu anhalten, ihr intuitives Verständnis einer Problemsituation zu externalisieren. Insbesondere die gemeinsame Entwicklung von Gütekriterien ist dabei für eine konstruktive Weiterentwicklung der Repräsentationsformen von Bedeutung.

Die unterschiedliche didaktische Schwerpunktsetzung im Umgang mit vorgegebenen und selbstkonstruierten Repräsentationsformen fördern auch auf Seiten der Schüler unterschiedliche Kompetenzen. Während eine vorgegebene Form vom Schüler

das Einhalten von Konstruktions- und (abstrakten) Interpretationsstandards verlangt, steht bei selbstkonstruierten Formen stärker die kreative, individuelle Umsetzung im Mittelpunkt. Dies zeigte sich in unserer Studie an der Vielzahl an Formen und verwendeten Materialien, mit denen die selben Materialwürfel dargestellt wurden. Während zudem bei selbstkonstruierten Repräsentationsformen das Erkennen von Größenbeziehungen oft erst durch angemessene Beschreibung in der Diskussion entsteht, können Schüler bei der Nutzung vorgegebener Repräsentationsformen diese Beziehungen bei der Repräsentationsaktivität selbst, auch ohne weitere Versprachlichung bzw. Impulse der Lehrkraft, entdecken.

Die Nutzung von Repräsentationsformen für Inhalte des Sachunterrichts wurde am Beispiel des Dichtekonzepts im Inhaltsgebiet „Schwimmen und Sinken“ dargestellt. Anspruchsvolle Lerninhalte des Sachunterrichts erfordern die Verwendung von Repräsentationsformen zur angemessenen Darstellung neuer Konzepte und struktureller Zusammenhänge. Grundschul Kinder werden dadurch nicht nur bei der Erfassung und Verankerung neuer Lerninhalte unterstützt, sondern können auch ihre fächerübergreifenden Fähigkeiten erweitern, wie beispielsweise das proportionale Denken. Durch wiederholte Nutzung im Grundschulunterricht können Repräsentationsformen zu transferierbaren Werkzeugen werden, die Kindern das Erschließen neuer Zusammenhänge in mathematischen und naturwissenschaftlichen Inhaltsgebieten ermöglichen.

Literatur

- Chinn, C. & Brewer, W. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research*, 63, 1-49.
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22 (9), 1041-1053.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cox, R. (1999). Representation construction, externalised cognition and individual differences. *Learning and Instruction*, 9, 343-363.
- diSessa, A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10 (2/3), 105-225.
- Gravemeijer, K. (1999). Instructional design for reform in mathematics education. In: M. Beihuizen, K. Gravemeijer & E. van Lieshout (Hrsg.). *The role of contexts and models in the development of mathematical strategies and procedures*, (S. 13-34). Freudenthal Institute, Utrecht: Utrecht CD-beta series on research and mathematics Education.
- Greeno, J., Smith, D. & Moore, J. (1993). Transfer of situated learning. In: D. Detterman & R. Sternberg (Eds.). *Transfer on trial: Intelligence, cognition, and instruction*, (S. 99-167). Norwood, NJ: Ablex Publishing Corp.
- Koerber, S. (2003). *Visualisierung als Werkzeug im Mathematik-Unterricht. Der Einfluss externer Repräsentationsformen auf proportionales Denken im Grundschulalter*. Hamburg: Verlag Dr. Kovac.
- Lehrer, R. & Schauble, L. (2000). Inventing data structures for representational purposes: Elementary grade students' classification models. *Mathematical Thinking and Learning*, 2 (1/2), 51-74.
- Möller, K., Jonen, A., Hardy, I. & Stern, E. (2002). Die Förderung von naturwissenschaftlichem Verständnis bei Grundschulkindern durch Strukturierung der Lernumgebung. *Zeitschrift für Pädagogik*, 45. Beiheft, 176-191.

- Möller, K. (1999). Konstruktivistisch orientierte Lehr-Lernprozessforschung im naturwissenschaftlich-technischen Bereich des Sachunterrichts. In: W. Köhnlein (Hrsg.). *Vielperspektivisches Denken im Sachunterricht*, (S. 125-191). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Martschinke, S. (1996). Der Aufbau mentaler Modelle durch bildliche Darstellungen. *Zeitschrift für Pädagogik*, 42 (2), 215-32.
- Posner, G., Strike, K., Hewson, P. & Gertog, W. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.
- Roth, W. & McGinn, M. (1998). Inscriptions: Toward a theory of representing as social practice. *Review of Educational Research*, 68 (1), 35-59.
- Schnotz, W. & Bannert, M. (1999). Einflüsse der Visualisierungsform auf die Konstruktion mentaler Modelle beim Text- und Bildverstehen. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie*, 46 (3), 217-36.
- Smith, C., Carey, S. & Wiser, M. (1985). On differentiation: A case study of the development of the concepts of size, weight, and density. *Cognition*, 21, 177-237.
- Stern, E., Aprea, C. & Ebner, H. (2003). Improving cross-content transfer in text processing by means of active graphical representation. *Learning and Instruction*, 13, 191-203.
- Stern, E., Hardy, I. & Koerber, S. (2002). Die Nutzung grafisch-visueller Repräsentationsformen im Sachunterricht. In: K. Möller & A. Hartinger (Hrsg.). *Ansätze und Methoden empirischer Forschung zum Sachunterricht*, (S. 119-131). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Stern, E., Möller, K., Hardy, I. & Jonen, A. (2001). Warum schwimmt ein schwerer Baumstamm im Wasser? *Physik Journal*, 3 (1), 63-67.
- Veenman, M., Wilhelm, P. & Beishuizen, J. (2004). The relation between intellectual and metacognitive skills from a developmental perspective. *Learning and Instruction*, 14, 89-104.
- Vosniadou, S., Ioannides, C., Dimitrakopoulou, A. & Papademetriou, E. (2001). Designing learning environments to promote conceptual change in science. *Learning and Instruction*, 15, 317-419.
- van Dijk, I., van Oers, B. & Terwel, J. (2003). Providing or designing? Constructing models in primary maths education. *Learning and Instruction*, 13 (1), 53-72.