

Kornelia Möller

*Meinem Freund und Kollegen  
Michael Soostmeyer gewidmet (†)*

## Anspruchsvolles Lernen in der Grundschule – am Beispiel naturwissenschaftlich- technischer Inhalte

### 1 Aufbruch in eine "neue" Wissenschaftsorientierung?

Schulleistungsstudien wie TIMSS und PISA haben in jüngster Zeit Anstöße zu einer grundsätzlichen Überprüfung unseres Bildungssystems gegeben: Beklagt wird – wie in den 60er Jahren – eine "neue" Bildungskatastrophe. Wie damals steht auch die Grundschule in der Kritik. Früher als bisher sollen Kinder anspruchsvoll gefordert und gefördert werden, um diejenigen Kompetenzen zu erwerben, die für künftige Lernprozesse notwendig sind. Obwohl die Ergebnisse der im Primarbereich durchgeführten Schulleistungsuntersuchungen noch ausstehen, beziehen sich die insbesondere aus PISA gezogenen Folgerungen zu einem erheblichen Anteil auf die Grundschule und den Kindergarten. Erste bildungspolitische Konsequenzen, wie frühere Einschulung, Ganztagsangebote, die Förderung ausländischer Kinder, aber auch Vergleichsarbeiten und Leistungsprofile, wurden bereits gezogen.

Auch in der Pädagogik mehren sich die Stimmen, nach denen Grundschulkinder häufig unterfordert sind und bei angemessener Förderung kognitiv anspruchsvoller lernen könnten als bisher üblich. Allerdings formiert sich insbesondere in der Grundschulpädagogik auch Widerstand gegen eine primäre Leistungsorientierung und eine unbesonnene Vorverlegung von Bildungsprozessen.

Vergleicht man die derzeitigen Forderungen und ihre Hintergründe mit Bildungsreformen der siebziger Jahre, so sind auffallende Parallelen zu beobachten:

- Wieder geben bildungspolitische Überlegungen, insbesondere die Sorge um die nationale Leistungsfähigkeit, den Anstoß für die Reform,
- wieder sieht man in den frühen Bildungsstufen, dem Elementar- und Primarbereich, ein besonders großes Reformpotenzial,

- wieder lösen neuere kognitions- und entwicklungspsychologische Befunde eine Diskussion um die kognitive Leistungsfähigkeit von Grundschulkindern und entsprechende Folgerungen für die Unterrichtsgestaltung aus,
- wieder ist die Diskussion, z.B. im Hinblick auf Kerncurricula, in anderen Ländern weiter vorangeschritten als in Deutschland,
- wieder ist der ökonomisch-politische Druck enorm groß, über schnelle Reformen Handlungsfähigkeit zu beweisen.

Der naturwissenschaftlich-technische Bereich spielte damals wie heute eine besondere Rolle in der Diskussion. Bereits Grundschulkinder sollen in die Anfänge der Naturwissenschaften und Technik eingeführt werden, um anspruchsvolles Lernen zu ermöglichen, späteres Lernen zu erleichtern und Interesse für diesen Lernbereich zu fördern. In den 70er Jahren allerdings lösten die im Zuge der Neuorientierung des Bildungswesens in Deutschland entwickelten, innovativen naturwissenschaftlichen Grundschulcurricula heftige, kontroverse Auseinandersetzungen um die Begriffe Kind- bzw. Wissenschaftsorientierung aus, was schon bald zur Rücknahme der geschlossenen, durch amerikanische Konzeptionen angeregten Projekte führte. Zentraler Kritikpunkt war die Vernachlässigung kindlicher Sichtweisen und Interessen und die Überforderung der Grundschulkinder hinsichtlich ihrer Verstehensmöglichkeiten. Statt dessen verbreiteten sich in Deutschland, grundschulpädagogischen Zielsetzungen entsprechend, eher offen ausgerichtete Ansätze, die durch entsprechende Curricula aus England beeinflusst waren. In England selbst allerdings wurden diese Ansätze bereits zu Ende der 80er Jahre durch die Einführung eines "National Curriculums" wegen ihrer starken Unverbindlichkeit in Zielen und Inhalten revidiert. Auch in Deutschland wird in jüngster Zeit verstärkt Kritik an der Praxis eines geöffneten Sachunterrichts geübt, der häufig in bloßem Aktionismus verbleibt und kognitive Aktivitäten vernachlässigt.

Inzwischen wird wieder weltweit die Intensivierung des naturwissenschaftlich-technischen Lernbereiches gefordert, da die damaligen Ansätze den Unterricht in den Grundschulen zumindest im Bereich der sog. harten Naturwissenschaften nicht nachhaltig verändert haben. Steht uns also eine "neue" Wissenschaftsorientierung in der Grundschule bevor, bei der sich u.U. die damaligen Fehlentwicklungen wiederholen? Oder haben wir aus der inzwischen dreißigjährigen Sachunterrichtsgeschichte lernen können?

Anhand damaliger Positionen und Entwicklungen, didaktischer Konzeptionen und neuerer Forschungsbefunde sollen zukunftsträchtige Ansätze für eine Reform des naturwissenschaftlich-technischen Bereiches in der Grundschule in diesem Beitrag erörtert werden. Zentral ist dabei die Frage, ob es möglich ist, Grundschulkindern im naturwissenschaftlich-technischen Bereich anspruchsvoll zu fördern, ohne dabei ihre Sichtweisen, Interessen und Vorerfahrungen zu vernachlässigen. Implizit enthält diese Frage die Forderung nach einer Vermittlung zwischen den Perspektiven des Kindes und den Perspektiven der Wissenschaft mit dem Ziel, eine einseitige Ausrichtung der curricularen Entwicklung an Bedingungen und Erfordernissen der wissenschaftlichen Disziplinen zu vermeiden. Wenn es uns gelingt, beide Perspektiven miteinander zu verknüpfen, können wir vielleicht der Gefahr einer

Wiederholung bildungspolitischer Geschichte – einem nur kurzfristigen Bemühen um einen anspruchsvollen Unterricht mit einer darauf folgenden Gegenbewegung – und damit weiteren Pendelschlägen in der Entwicklung des Sachunterrichts entgehen.

## 2 Die Bildungsreform der siebziger Jahre

Der im Jahr 1970 erschienene Strukturplan für das deutsche Bildungswesen, herausgegeben vom Deutschen Bildungsrat<sup>1</sup>, enthielt entscheidende Grundgedanken der damaligen Bildungsreform. Neuere Untersuchungen aus der pädagogischen Psychologie zum Bereich Begabung und Lernen<sup>2</sup> waren der Hintergrund für die Forderung, bereits im Grundschulalter anspruchsvollere Lernprozesse zu ermöglichen, wozu auch die Anfänge der Naturwissenschaften in elementarisierter Form gehören sollten. Die Lernprozesse sollten dabei nicht zu einer Vorverlegung späterer Lernansprüche führen, sondern Anfänge darstellen, die weiterführendes Lernen begünstigen.<sup>3</sup>

Die in dieser Forderung enthaltene grundlegende *wissenschaftliche Orientierung* von Lernprozessen richtete sich vor allem gegen die damals vorherrschende anthropomorphisierende Aufbereitung von Inhalten im traditionellen Heimatkundeunterricht. Eine Vernachlässigung der Perspektive vom Kinde her war zumindest im Strukturplan nicht beabsichtigt: So wurde gefordert, an die Erfahrungswelt der Schüler<sup>4</sup> anzuknüpfen und durch spielerische Lernformen dem Entwicklungsstand der Kinder zu entsprechen. Den Fragen der Kinder wurde dabei durchaus Beachtung geschenkt: Sachunterricht sollte in "die einfachsten und zugleich grundlegenden naturwissenschaftlichen Denk- und Untersuchungsweisen (einführen), die im Anschluss an die Erlebnis- und Erfahrungswelt von Kindern dieses Alters deren Interessen erregen und die sie (die Kinder, Anm. d. Verf.) erklärt haben wollen."<sup>5</sup>

Auch die Notwendigkeit einer *Individualisierung* der Lernprozesse wurde hervorgehoben. Das Prinzip der (inneren) Differenzierung sollte vor allem als diagnostisches Mittel für die Ermittlung der individuellen Lernvoraussetzungen verstanden werden, um festzustellen, "wie beim einzelnen Kind die Anschlussbedingungen an die Lernprozesse gegeben sind". Unter dem Aspekt des *prozessorientierten Lernen*: wurden Formen des entdeckenden und problemlösenden Lernens wie auch selbstständige und kooperative Arbeitsformen hervorgehoben<sup>6</sup>. Dass produktives und kritisches Denken prinzipiell lehr- und lernbar ist, unterstrich Roth<sup>7</sup> in dem Band *Begabung und Lernen*. Die genannten "neuen" Lehrformen verlangten auch nach einer gewandelten *Lehrerrolle*: Die Lehrkraft wurde beschrieben als "Erfinder und Planer von Problemsituationen, die die Eigeninitiative der Schüler herausfordern."<sup>8</sup>

Wie konnte es bei diesen relativ ausgewogenen Formulierungen des Deutschen Bildungsrates zu den bekannten Fehlentwicklungen in den 70er Jahren kommen?<sup>9</sup>

"Die Krankengeschichte" des sog. wissenschaftsorientierten Sachunterrichts führt Schwartz schon bald nach Beginn der Reform auf eine zu schnelle und zu einseitige Durchführung der Reformen wie auf die mangelnde Berücksichtigung

von Lernvoraussetzungen und institutionellen Randbedingungen zurück. Wesentlich beeinflusst wurde die Realisierungsphase der Reform durch die im Strukturplan gegebenen Verweise auf die weiter fortgeschrittene amerikanische Curriculumentwicklung, die durch eine kontrollierte Adaption für deutsche Verhältnisse nutzbar gemacht werden sollte. Explizit wurde auf die in Amerika entwickelten, lernzielorientierten Curriculumansätze "structures of the discipline" und "process as content" hingewiesen, die mit definierten Lernzielen und -inhalten, erprobten Lehrverfahren und Instrumenten für die Lernerfolgsmessung wie auch mit Maßnahmen zur Lehrerbildung und -fortbildung ausgestattet waren. Sie versprachen, die Realisierungschancen für die Reform zu erhöhen und die Lehrkräfte für produktive Aufgaben freizustellen. Freiräume für entdeckende und problemlösende Lehrverfahren wie auch die Berücksichtigung individueller Lernerfahrungen, Lernbedürfnisse und Lernwege wurden in diesen lernstrategisch strukturierten Curricula wie auch in den entsprechenden deutschen Versionen dagegen vernachlässigt.<sup>10</sup>

Schon kurz nach ihrem Erscheinen wurden die in der Bundesrepublik entwickelten "neuen" Curricula heftig kritisiert, insbesondere wegen ihrer relativen Geschlossenheit und wegen der Vernachlässigung kindlicher Interessen und Denkweisen. Metaanalysen von Breddermann aus dem Jahre 1983 zur Evaluation der aktivitätsbetonten, wissenschaftsorientierten amerikanischen Curricula SAPA, SCIS und ESS, die den Unterricht in der BRD stark beeinflussten, belegten die in Deutschland geübte Kritik. Zwar war das Erreichen der angestrebten verfahrensorientierten Lernziele recht befriedigend; weniger zufriedenstellend waren allerdings die erreichten Werte in Bezug auf affektive Lernziele und – noch auffälliger – die Werte in Bezug auf inhaltliches Verstehen.<sup>11</sup>

Als Gegenbewegung entstanden sog. "offene", verfahrensorientierte Konzeptionen, die auf die Berücksichtigung von Schülervorstellungen, Schülerinteressen und Alltagsbezügen Wert legen. Diese durch englische Curricula inspirierten Konzeptionen wurden von der deutschen Grundschulpädagogik favorisiert. Sie folgten dem Grundgedanken: Kinder lernen forschend, aktiv, auf eigenen Wegen und mit selbst gesetzten inhaltlichen Schwerpunkten.<sup>12</sup>

Doch auch diese Curricula konnten die in sie gesetzten Erwartungen nicht vollständig erfüllen. Schon früh zeigten z.B. die Metaanalysen von Giaconia und Hedges, dass offene Unterrichtsformen zwar in der Förderung von Persönlichkeitsvariablen erfolgreicher sind als lernzielorientierte Konzeptionen, in Bezug auf kognitive Ziele aber nicht das Niveau des lernzielorientierten Unterrichts erreichen.<sup>13</sup>

Leider erfolgte die Auseinandersetzung über Formen der Realisierung zwischen Befürwortern der geschlossenen und der offenen Konzeptionen, zwischen Vertretern eher "wissenschaftsorientierter" und eher "kindgemäßer" Lernformen häufig polarisiert und teilweise auch polemisch. Aus heutiger Sicht erstaunt die Ausschließlichkeit der Alternativen. Warum ließ sich die im Strukturplan geforderte Verknüpfung beider Prinzipien, die Orientierung der Lernprozesse an naturwissenschaftlichen Verfahren und Konzepten und die Forderung nach einer kindgemäßen Ausgestaltung anspruchsvoller Lernprozesse nicht realisieren? Handelt es sich um

prinzipiell nicht vereinbare Zielsetzungen? Oder fehlte es an einer Optimierung der entwickelten Lernumgebungen?

Festzuhalten ist: Die naturwissenschaftsorientierten, durch amerikanische Konzeptionen beeinflussten, lernzielorientierten Curricula der ersten Generation gaben der Entwicklung des naturwissenschaftlich-technischen Lernbereichs wichtige Impulse, konnten aber die pädagogischen Ansprüche an Bildungsprozesse letztlich nicht erfüllen. Bei den sog. offenen Konzeptionen blieb die mangelnde Zielerreichung im kognitiven Bereich ein wesentlicher Kritikpunkt. Eine multikriteriale Zielerreichung, das heißt eine Vereinbarkeit von kognitiven und nicht-kognitiven, leistungsbezogenen und nicht-leistungsbezogenen Zielsetzungen wurde in der Anfangsphase der Reform weder von den sog. geschlossenen noch von den sog. offenen Konzeptionen verwirklicht.

### 3 Naturwissenschaftlich-technisches Lernen in der Grundschule heute

#### 3.1 Zielsetzungen

Dass Inhalte aus dem naturwissenschaftlich-technischen Bereich Bestandteil des Sachunterrichts sein sollen, findet heute breite Konsensfähigkeit. Unterschiedlich sind allerdings die Argumente: Während Legitimationen im Zusammenhang mit TIMSS und PISA überwiegend auf die Grundlegung weiterführenden Lernens Bezug nehmen, begründen Grundschulpädagogen und Sachunterrichtsdidaktiker ein Lernen im Vorfeld von Naturwissenschaften und Technik bipolar: Neben der Perspektive der Wissenschaften soll die Perspektive der Schüler berücksichtigt werden – eine Argumentationsweise, die der Philosophie des Perspektivrahmens der GDSU entspricht.<sup>14</sup>

Eine breite, systematische Wissensvermittlung in allen Bezugsdisziplinen des Sachunterrichts mit fachpropädeutischen Zielsetzungen ist allerdings nicht beabsichtigt. Diese verbietet sich schon allein wegen ihres Umfangs und der damit zwangsläufig verbundenen Vernachlässigung weiterer, nicht fachlicher Zielsetzungen. Konsensfähiger ist das Konzept eines prozess-, phänomen- und problemorientierten Unterrichts, der die Entwicklung von Einstellungen, Haltungen und Denkfähigkeiten, insbesondere von Methoden des Denkens, zum Ziel hat. In Bezug auf den Erwerb von inhaltlichem Wissen geht es um anschlussfähiges, gründliches Erarbeiten und Verstehen einzelner, auch subjektiv bedeutsamer Frage- und Problemstellungen, nicht um eine auf Systematik ausgerichtete, effektive Wissensvermittlung.<sup>15</sup>

An die Qualität des Wissens werden dabei folgende Ansprüche gestellt: Das erworbene Wissen sollte

- nachvollziehbar und einsichtig sein (*Verstehbarkeit des Wissens*),
- in die individuelle Denkstruktur des Lernenden eingebettet sein (*Integriertheit des Wissens*),

- sich intersubjektiv, auch in der Auseinandersetzung mit anderen bewähren (*Belastbarkeit des Wissens*),
- bei der Deutung lebensweltlicher Phänomene/Probleme genutzt werden können (*Robustheit des Wissens*),
- sich auch auf "Können" im Sinne grundlegender Verfahren beziehen (*Methodenorientiertheit des Wissens*),
- weiterführendes (auch fachbezogenes) Lernen ermöglichen (*Anschlussfähigkeit des Wissens*),
- auf Interesse der Lernenden stoßen (*persönliche Bedeutsamkeit des Wissens*) und
- Kompetenzerlebnisse ermöglichen (*Kompetenzorientierung des Wissens*).<sup>16</sup>

Für die Zielsetzungen des Sachunterrichts, auch für das Lernen im Vorfeld der Naturwissenschaften, folgt hieraus, dass gleichermaßen kognitive wie nicht-kognitive, fachbezogene wie lebensweltlich bezogene, auf gegenwärtiges wie auf zukünftiges Lernen bezogene, inhalts- wie verfahrensbezogene Ziele zu berücksichtigen sind.

### 3.2 Konstruktiv-genetisches Lernen als Unterrichtsprinzip

Als didaktische Konzeption für den naturwissenschaftlich-technischen Sachunterricht hat sich der genetisch orientierte Unterricht etabliert, der in Anlehnung an Martin Wagenschein vor allem von Thiel, Köhnlein und Soostmeyer, teils mit anderer konzeptueller Einordnung, aber mit gleicher Intention auch von Spreckelsen, Biester und Möller entwickelt wurde. Er vermittelt zwischen polaren wissenschaftsbezogenen bzw. kindbezogenen Konzeptionen, indem er kindliches Denken und kindliche Fragen aufnimmt und diese im Unterricht weiterentwickelt, ohne begriffliches Wissen vorzugeben.<sup>17</sup>

In überzeugenden didaktischen Überlegungen, in Unterrichtsbeispielen und Untersuchungen wurde gezeigt,

- dass eine Aufhebung der scheinbaren Antinomien von Kindgemäßheit und Wissenschaftsorientierung, von ganzheitlichem und fachbezogenem Unterricht möglich ist, wenn der Unterricht an interessanten Phänomenen anknüpft und konstruktiv an den Erfahrungen der Kinder arbeitet,
- dass sich auf einem solchen konstruktiv-genetischen Weg grundlegende Vorstellungen aufbauen lassen, die eine Basis für weiterführendes, fachliches Lernen bilden,
- dass in einem solchen Unterricht nicht nur Verfahren naturwissenschaftlich-technischen Denkens erarbeitet werden, sondern auch ein Verstehen inhaltlicher Zusammenhänge möglich wird.

Eine besondere Rolle spielt das Gespräch und die Unterrichtsführung durch die Lehrperson. Die Klasse wird dabei als ein Verbund gemeinsam Denkender betrachtet, der in der Interaktion untereinander Ideen entwickelt, prüft, vielleicht verwirft, differenziert und auch neu aufbaut. Der Aufbau von Konzepten erfolgt dabei in einer Wechselwirkung von sozialem Austausch und empirischer Überprüfung im

Handeln, im Überwinden von Widersprüchen und in der Strukturierung von Erfahrung.<sup>18</sup>

Kontroversen haben sich in der Bewertung des Erreichbaren ergeben. Handelt es sich, wie Köhnlein betont, bei dem erreichbaren Denkniveau bereits um Anfänge naturwissenschaftlichen Denkens oder geht es, nach Löffler, um die Differenzierung von Erfahrungen vor einem alltagsweltlichen Horizont?<sup>19</sup> Auch wenn diese letztlich wissenschaftstheoretische Frage offen bleibt, so ist festzuhalten: Die Kinder machen beobachtbare Fortschritte in ihrem Denken: Sie erlernen zumindest im Ansatz naturwissenschaftliche Methoden, wie z.B. das Aufstellen und Überprüfen von Vermutungen, und gelangen von fehlerhaften oder unvollständigen Konzepten zu Vorstellungen, die sich in der Anwendung besser bewähren.

### *3.3 Zur Situation in der Schulpraxis*

Über den tatsächlich praktizierten Unterricht im naturwissenschaftlich-technischen Bereich wissen wir nicht viel. Ältere Untersuchungen von Einsiedler/Schirmer und Schreier haben gezeigt, dass naturwissenschaftliche Themen im Zuge der Wissenschaftsorientierung zu Beginn der 70er Jahre zunahmen, schon Mitte der 70er Jahre aber wieder auf den Ausgangswert zurückgingen.<sup>20</sup>

Eine neuere Untersuchung kann als Indiz für eine heute noch immer existierende Randständigkeit naturwissenschaftlich orientierter Themen interpretiert werden. Blaseio untersuchte die Repräsentation von Inhaltenbereichen in ausgewählten Schulbüchern. In ihrer Analyse stellte sie fest, dass der Anteil naturwissenschaftlicher Themen im Sachunterricht zu Beginn der 70er Jahre noch 45 % betrug, Ende der 80er auf 20 % sank und inzwischen bei ca. 25 % der Schulbuchinhalte liegt. Noch deutlicher ist der Rückgang, wenn man den Anteil der sog. harten Naturwissenschaften und der Technik isoliert betrachtet: Hier sank der Anteil von 30 % zu Anfang der 70er Jahre auf inzwischen ca. 7 %.<sup>21</sup>

Auch neuere Lehrplananalysen belegen eine Abwärtsentwicklung nach einem kurzen Anstieg in den 70er Jahren: Strunck et al. weisen nach, dass naturwissenschaftliche Inhalte deutlich reduziert, sozialwissenschaftliche Inhalte dagegen ausgebaut wurden. Diesen Trend bestätigt Einsiedler in einer ausführlichen Inhaltsanalyse aller gültigen Lehrpläne Ende der 90er Jahre.<sup>22</sup>

Über die Praxis des naturwissenschaftlichen Unterrichts liegen kaum empirische Untersuchungen vor. Von Verlagen angebotene Unterrichtsmaterialien im Kontext geöffneten Unterrichts beschränken sich häufig auf Sammlungen von Experimenten zu verschiedenen Themenbereichen bzw. auf komplexe, fachübergreifend ausgelagerte Werkstattangebote, in denen zum Beispiel beim Thema Wasser verschiedene inhaltliche Bereiche, wie Verdunstung, Auftrieb, Oberflächenspannung, Wasserversorgung, Wasserreinigung usw. angesprochen werden. Die Fülle der angebotenen Inhalte erschwert dabei häufig ein gründliches, auf Verstehen ausgerichtetes Bearbeiten der einzelnen inhaltlichen Fragen. Zudem führen die auf Selbsttätigkeit der Kinder ausgerichteten Werkstattaktivitäten leicht zu einer Überforderung, wenn es um die Entwicklung und Prüfung möglicher Deutungen der durchgeführten Ex-

perimente geht. Nach einer Durchsicht entsprechender qualitativer Studien zum kognitiven Niveau stellt Lipowsky fest, dass Lernaktivitäten häufig rezeptiven Charakter haben und einsichtsvolles, vernetztes, forschendes und entdeckendes Lernen in geöffnetem Unterricht nur selten beobachtet werden kann.<sup>23</sup> Zu vermuten ist, dass ein Teil der Werkstattaktivitäten zum naturwissenschaftlichen Lernen auf einem relativ geringen kognitiven Niveau stattfindet und die Aktivitäten der Schüler auf die Handlungsebene beschränkt bleiben.

### *3.4 Fazit*

Obwohl aus normativer Sicht relative Einigkeit in Bezug auf die Ziele und Inhalte einer grundschulbezogenen, naturwissenschaftlich-technischen Bildung in Deutschland besteht, ist die Situation in der Schulpraxis noch immer unbefriedigend. Weder die geschlossenen Ansätze aus den 70er Jahren, noch die heute weit verbreiteten geöffneten Unterrichtsformen scheinen eine multikriteriale Zielerreichung, das heißt das Erreichen kognitiver und nicht-kognitiver Zielbereiche, zu gewährleisten. Bei den sog. offenen Unterrichtsformen besteht das Problem, dass zwar eine motivierende Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen Experimenten erzielt wird, tieferes Verstehen und anwendungsbereites Wissen dabei aber teilweise vernachlässigt werden.

Vielversprechender scheint der genetische Ansatz zu sein, da er die Orientierung an der Wissenschaft, z.B. an naturwissenschaftlichen Verfahren, Denkweisen und Begriffen, mit Kindern gerecht werdenden Vorgehensweisen verknüpft. Leider konnte sich dieser in der Didaktik von breitem Konsens getragene genetisch-konstruktive Zugriff in der Schulpraxis bisher nicht sicher etablieren, obwohl er bereits seit den 70er Jahren vertreten und durch viele überzeugende Beispiele konkretisiert wurde. Über die Gründe kann man spekulieren; vielleicht werden die bei diesem Unterrichtsprinzip geforderten, ausgesprochen anspruchsvollen Lehrer-verhaltensweisen im fachwissenschaftlichen und unterrichtsmethodischen Bereich nicht hinreichend in der Lehreraus- und Fortbildung entwickelt, vielleicht fehlen an vielen Orten die notwendigen materiellen Bedingungen für einen solchen Unterricht, vielleicht wirkt sich auch die Begrenztheit der Konzeption auf den deutschsprachigen Raum beeinträchtigend aus.

## 4 Neuere lern- und entwicklungspsychologische Perspektiven

### *4.1 Bereichsspezifisches Wissen und geistige Entwicklung*

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. Nach Piagets Stadientheorie können Kinder naturwissenschaftliche Konzepte, wie z.B. das Konzept der Dichte, erst dann verstehen, wenn in

ihrem Denken die formalen Voraussetzungen dafür gegeben sind. Aus der Sicht der Entwicklungspsychologie wurde diese Vorstellung von geistiger Entwicklung inzwischen revidiert. Neueren kognitiven Theorien zufolge ist Lernen der wichtigste Mechanismus der geistigen Entwicklung. Die Befunde zur Inhaltsspezifität der geistigen Entwicklung<sup>24</sup> sind überwältigend: Manche Kinder können in einem Inhaltsgebiet – z.B. in Mathematik – bereits sehr fortgeschrittene geistige Operationen vollziehen, während sie in anderen Inhaltsgebieten bei vergleichbar schwierigen Aufgaben überfordert sind. Generell zeigte sich, dass das Erklärungspotenzial von inhaltsunspezifischen Fähigkeiten wie der allgemeinen Intelligenz geringer ist als das Erklärungspotenzial von inhaltspezifischem Wissen. Versteht man kognitive Entwicklung als den Erwerb und die Umstrukturierung von Wissen, ist davon auszugehen, dass eine frühe Konfrontation mit anspruchsvollen Inhaltsgebieten einen Entwicklungsvorsprung verschafft. Unter Wissenserwerb wird hier nicht allein die Akkumulation von Fakten, sondern vielmehr der Erwerb theoriegeleiteter Begriffe und Konzepte verstanden.

Die aus Piagets Theorie abgeleitete Vorstellung vom Grundschulkind, das im konkret-operationalen Denken verhaftet ist, hat die Auswahl schulischer Inhalte für die Grundschule stark beeinflusst. Physikalisch-technische Inhalte werden, wenn überhaupt, häufig auf einer phänomenorientierten, handlungsnahen Ebene im Sachunterricht der Grundschule thematisiert, die Förderung anspruchsvoller kognitiver Konzepte wurde dagegen mit Verweis auf die noch begrenzten Denkfähigkeiten der Kinder vernachlässigt. In Bezug auf das naturwissenschaftliche Denken konnte aber inzwischen belegt werden, dass bereits Grundschulkinder in inhaltsreichen Wissensdomänen zu kausalem und schlussfolgerndem Denken in der Lage sind und kohärente und gehaltvolle Theorien zu naturwissenschaftlichen Phänomenen entwickeln können.<sup>25</sup> Auch Untersuchungen, die didaktische Ansätze zum genetischen Lernen aufgreifen, zeigen, 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.<sup>26</sup> Eine frühe Förderung physikalisch-technischen Denkens scheint unter bestimmten Bedingungen daher möglich.

#### *4.2 Lernen erfordert Conceptual Change*

Naturwissenschaftliche und technische Phänomene regen Kinder oft spontan zur Bildung von Erklärungen an. Viele dieser intuitiven Vorstellungen sind aber inadäquat oder unvollständig; sie widersprechen wissenschaftlichen Konzepten und behindern nicht selten das Erlernen der fachwissenschaftlichen Sichtweisen. So haben bereits achtjährige Kinder explizite Vorstellungen davon, warum z.B. manche Dinge im Wasser schwimmen bzw. nicht schwimmen. Entscheidend seien z.B. das Gewicht oder die Form eines Gegenstandes oder die aktive Rolle der Luft. Diese Vorstellungen sind aber inkompatibel mit dem Konzept der "Dichte" im Bereich der Physik, mit dem die Kinder jedoch gegenwärtig oft erst in der achten Klasse konfrontiert werden. Bis dahin haben sich die intuitiven Vorstellungen durch Bestä-

tigung im Alltag häufig so stark verfestigt, dass sie nur ungern aufgegeben werden. Ziel sollte daher sein, 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.

Ergebnisse aus der Präkonzeptforschung zeigen, dass nicht nur Kinder, sondern auch Erwachsene Wissen nur sehr zögerlich revidieren oder aufgeben und über einen langen Zeitraum mehrere nicht miteinander zu vereinbarende Erklärungsmuster tolerieren, ohne sich durch Widersprüche stören zu lassen. Bewährte Alltagsvorstellungen behaupten sich z.B. auch neben dem erlernten schulischen Wissen; in Anwendungssituationen wird häufig nicht das erworbene schulische Wissen benutzt, sondern auf das bewährte Alltagswissen zurückgegriffen. Eine direkt instruktive, schnelle Vermittlung adäquaterer Konzepte, verbunden mit "richtigen" Erklärungen, birgt die Gefahr, dass das erlernte Wissen träge bleibt. Um anwendungsbereites und integriertes Wissen aufzubauen, müssen Schüler vielmehr aktiv und aufgrund eigener Denkprozesse bisherige Konzepte in Frage stellen, anhand von Erfahrungen überprüfen, alte Ideen verwerfen und neue Ideen entwickeln, diese wiederum überprüfen, in verschiedenen Situationen anwenden und in ihrer eigenen Sprache repräsentieren.<sup>27</sup>

#### *4.3 Konzeptwechselfördernde Lehr-Lernumgebungen*

Lehr-Lernumgebungen, die eine aktive Konstruktion von Konzepten auf der Basis der vorhandenen Präkonzepte ermöglichen, darüber hinaus in authentische, sinnvolle Kontexte eingebettet sind, das sprachliche Aushandeln von Erkenntnissen und das Lernen in Lernergemeinschaften fördern, haben sich auch im naturwissenschaftlich-technischen Bereich der Grundschule in Voruntersuchungen sowohl hinsichtlich des konzeptuellen Verstehens als auch in motivationaler Hinsicht als förderlich für einen konzeptwechselorientierten Unterricht erwiesen.<sup>28</sup> Ziel solcher Lehr-Lernumgebungen ist es, Kinder anhand motivierender Fragestellungen auf inadäquate, nicht belastbare Vorstellungen aufmerksam zu machen, ihnen Möglichkeiten zur Konstruktion adäquaterer, dem wissenschaftlichen Verständnis nahekommender Deutungen zu bieten und die Fruchtbarkeit der neu aufgebauten Vorstellungen erfahrbar zu machen.<sup>29</sup>

Dabei liegt ein Lernverständnis zugrunde, dass in der Literatur häufig als "moderat konstruktivistisch" oder "inklusiv konstruktivistisch" bezeichnet wird.<sup>30</sup> Gemeint ist die Vorstellung, nach der jedes Lernen ein aktiver, selbstgesteuerter, situierter, konstruktiver und sozialer Prozess ist, in dem Bedeutungen gemeinsam in einer Lerngruppe aufgebaut werden. Eine direkte Transmission von Wissen ohne aktive Beteiligung des Lernenden ist nach dieser Auffassung nicht möglich; der Lernende muss Wissen in seinem Kopf selbst konstruieren. Theoretisch nimmt dieses Lernverständnis Bezug auf die Motivations- und Interessentheorie, auf Theorien zur

situerten Kognition, auf Theorien, die Lernen in Anknüpfung an Wygotski als sozialen, kulturell eingebetteten Prozess betrachten (social-learning-Theorien und shared-cognition-Theorien), und, vor allem im naturwissenschaftlichen Bereich, auf Ergebnisse der Präkonzept- und Conceptual-Change-Forschung.<sup>31</sup>

Versucht man, Lehr-Lernumgebungen auf der Basis dieses Lernverständnisses zu entwickeln, so entsteht die Frage, welche Rolle die Lehrkraft in einem Prozess spielt, der weitgehend selbstgesteuert und aktiv vom Lernenden vollzogen werden muss. Vielfach wurde in der Literatur die zumindest nicht zwingende Folgerung abgeleitet, dass sich der Lernende das Wissen selbst aneignen muss und die Rolle der Lehrkraft sich auf das Anbieten von Lerngelegenheiten und auf das Begleiten von Lernprozessen beschränken sollte. Solche auf methodische Selbsttätigkeit der Lernenden ausgerichteten Lehr-Lernumgebungen erwiesen sich aber in Bezug auf erreichte Lernziele in manchen Inhalten als unbefriedigend.<sup>32</sup> Weinert formuliert: Selbständiges Lernen führt bei "anspruchsvollen Inhalten, Aufgaben und Zielen ohne qualifizierte Voraussetzungen auf Seiten der Lernenden mit hoher Wahrscheinlichkeit zu Lerndefiziten, fehlerbehafteten Kenntnissen und Misserfolgs erlebnissen. Defizite bestehen im systematischen Aufbau von Wissen, im Abstraktionsniveau des Gelernten, in der Korrektheit der erworbenen Kenntnisse und im Erwerb von Lernstrategien."<sup>33</sup> Insbesondere bei anspruchsvollen und hochstrukturierten Inhalten sei es notwendig, eine angemessene Balance zwischen Selbststeuerungsmöglichkeiten und strukturierenden Hilfen zu finden.

Auch die Komplexität anwendungsnaher Problemstellungen, die im Rahmen der Theorien zur Situierten Kognition als lernförderlich diskutiert werden, kann, wie Untersuchungen ergeben haben, zu Lernproblemen führen, die sich sowohl auf motivationale Faktoren als auch auf kognitive Leistungen negativ auswirken.<sup>34</sup>

Inzwischen wurden, auf der Basis solcher empirischen Überprüfungen, von mehreren Autoren Lehr-Lernumgebungen entwickelt, denen ebenfalls konstruktivistisch orientierte Auffassungen vom Lernen zugrunde liegen, die aber in Bezug auf die Gestaltung der Lehr-Lernumgebungen Differenzierungen vornehmen. Weiterhin wird dabei die aktive Konstruktion des Wissens durch die Lernenden als Bedingung für erfolgreiche Lernprozesse betrachtet; die Lehrkraft hat die Aufgabe, durch eine angemessene Strukturierung komplexer Lernsituationen Wissenskonstruktionen zu erleichtern bzw. erst zu ermöglichen.<sup>35</sup>

Wesentliche Merkmale solcher "angepasster" Lehr-Lernumgebungen, die sich an dem konstruktivistischen Bild vom Lernen orientieren, ohne auf strukturierende Maßnahmen zu verzichten, sind:

- die Förderung aktiver Lernprozesse durch motivierende Fragestellungen und anregungsreiche Lernumgebungen,
- das Anknüpfen an die Präkonzepte der Lernenden,
- die Unterstützung der selbstständigen Wissenskonstruktionen der Lernenden durch strukturierende Maßnahmen wie z.B. durch eine kognitiv aktivierende Gesprächsführung,
- die Einbettung der Inhalte in sinnvolle, anwendungsbezogene Kontexte,

- ein angemessenes Maß an Mitbestimmung bei den Lerninhalten, -zielen, -methoden und Lernkontrollen,
- das Ermöglichen gemeinsamer Diskussionen im Gespräch miteinander und das Unterstützen kooperativer Lernformen,
- die Reflexion von Lernprozessen,
- die Förderung der kognitiven Aktivität der Lernenden durch strukturierende Gesprächsführung und Begrenzung von Komplexität.

Was ist von solchen Lehr-Lernumgebungen zu erwarten? Untersuchungen zur Unterrichtsqualität lassen vermuten, dass eine ausgewogene Verknüpfung von Elementen direkten und offenen Unterrichts eine multikriteriale Zielerreichung begünstigt.<sup>36</sup> Sollte die von Weinert angemahnte Balance von Selbständigkeit im Wissenserwerb und notwendiger Unterstützung gelingen, so könnten sowohl in kognitiver Hinsicht wie auch in nicht-leistungsbezogenen Zielbereichen günstige Wirkungen erzielt werden.

## 5 Eine Untersuchung zur multikriterialen Zielerreichung beim naturwissenschaftlichen Lernen in der Grundschule<sup>37</sup>

### 5.1 Wie kommt es, dass ein eisernes Schiff nicht untergeht?

Ein in Bezug auf Grundschulkinder kontrovers diskutierter Bereich ist das Themengebiet "Schwimmen und Sinken" mit den zugrunde liegenden Begriffen "Dichte" und "Auftriebskraft". Nicht adäquate Vorstellungen, wie z.B. die Abhängigkeit der Auftriebskraft von der nach oben "ziehenden" Luft ("die Luft will nach oben") oder die Abhängigkeit des Schwimmens von Gegenständen von deren Größe ("alles, was groß ist, schwimmt") oder Masse ("alles, was leicht ist, geht unter") müssen als nicht belastbar erkannt werden, um ein qualitatives Verständnis von Dichte und Auftriebskraft aufzubauen zu können. Besondere Probleme bereitet das für den Dichtebegehr erforderliche proportionale Verständnis, bei dem sowohl die Masse wie auch das Volumen eines Körpers berücksichtigt werden muss. Da Grundschulkinder dazu tendieren, nur eine der beiden relevanten Größen Masse und Volumen in ihren Erklärungen zu berücksichtigen, ist diese Art des konzeptuellen Verständnisses besonders schwierig.<sup>38</sup>

### 5.2 Fragestellung und Intervention

Zu vermuten ist, dass die für Grundschulkinder recht anspruchsvollen, erforderlichen Konzeptwechsel bei dem Thema "Schwimmen und Sinken" auf strukturierende Maßnahmen angewiesen sind. Dabei interessierte uns, ob ein an konstruktivistischen Lerntheorien orientierter Unterricht mit strukturierenden Maßnahmen kognitive Zielsetzungen erreicht, ohne dabei nicht-leistungsbezogene Zielsetzungen zu vernachlässigen. Wir untersuchten deshalb in einer experimentell angelegten Interventionsstudie, welchen Einfluss eine Variation von methodischer Selbst-

steuerung und Komplexität auf den Erwerb eines Basisverständnisses physikalischer Begriffe und auf eine multikriteriale Zielerreichung hinsichtlich einer Vereinbarkeit von kognitiven und nicht-leistungsbezogenen Zielsetzungen hat. Außerdem stellten wir die Frage, wie sich die Variation von Selbststeuerung und Komplexität in Abhängigkeit von kognitiven Eingangsunterschieden auswirkt.

Als Intervention wurden zwei problemorientierte Lehr-Lernumgebungen zum Thema "Wie kommt es, dass ein riesiges, schweres Schiff aus Eisen im Wasser nicht untergeht?" mit einem hohen Maß an angestrebter kognitiver Eigenaktivität entwickelt, die lediglich im Ausmaß der Strukturierung variierten. In beiden Lernumgebungen wird eine grundsätzliche Orientierung an konstruktivistischen Lerntheorien konstant gehalten. Für die Gestaltung des Unterrichts bedeutete dieses in beiden Einheiten: Aktivieren des Vorwissens, Eingehen auf vorhandene Präkonzepte, Anbieten einer anregenden Lehr-Lernumgebung, um einen konstruktiven Wissensaufbau zu ermöglichen, Entwickeln eigener Ideen und Fragen durch die Schüler, Überprüfen von Vermutungen durch die Schüler im Umgang mit verschiedenen Materialien und im Gespräch miteinander. Konstant gehalten wurden auch die Zeitdauer des Unterrichts und das Materialangebot.

Die Unterrichtseinheiten unterschieden sich lediglich im Grad der Strukturierung: In der weniger stark strukturierten Einheit (kurz: OHNE) wurde den Kindern eine Lernumgebung in Form eines offenen Materialangebots (Wasserbecken, Knete, Töpfe, Metallboote, Waagen, Holzknöpfe, Metallplatten, Stecknadeln, Kerzen etc.) zur Verfügung gestellt, in der sie ihre Ideen überprüfen und ihre Fragen beantworten konnten. Außerdem gab es ein komplexes Stationenangebot mit Anregungen für Versuche, um neue Erfahrungen zu ermöglichen und auf Phänomene aufmerksam zu machen. Knobelaufgaben waren eine weitere Möglichkeit, Erklärungen zu überprüfen. Während der Stationenarbeit gab die Lehrkraft individuelle prozessbezogene Hilfestellungen. Entdeckungen und Probleme wurden in Kleingruppen und in Klassengesprächen präsentiert und diskutiert. Die Kinder bestimmten hierbei weitgehend den Ablauf der Gespräche. In seinem Aufbau ähnelte der Unterricht einem Werkstattangebot mit Möglichkeiten zum freien Experimentieren.

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

Um eine Vergleichbarkeit der Lernerfolge zwischen den OHNE- und MIT-Klassen zu ermöglichen, sorgte die Lehrkraft dafür, dass auch alle Kinder der OHNE-Gruppen sich mit den in den durchgeführten Tests abgefragten Lerninhalten auseinander setzten und alle wichtigen Zusammenhänge im gemeinsamen Gespräch thematisiert wurden.

### *5.3 Design der Untersuchung und bisherige Ergebnisse*

Beide Unterrichtseinheiten wurden in jeweils drei Klassen des dritten Schuljahres von derselben Lehrperson in acht Doppelstunden und unter Verwendung derselben Materialien durchgeführt. Die sechs beteiligten Klassen sind hinsichtlich der Sozialstruktur, der Klassengröße, den Vorerfahrungen mit naturwissenschaftlichem Lernen und den Vorerfahrungen mit offenen bzw. mit gelenkten Unterrichtsformen vergleichbar.

Um den Lernerfolg der an der Untersuchung beteiligten Kinder zu erfassen, entwickelten wir einen Test, der das konzeptuelle Verständnis von Schwimmen und Sinken bei verbindlichen Unterrichtsinhalten (Dichte, Dichtevergleich, Verdrängung und Auftrieb) vor und nach dem Unterricht erhebt. Der Test umfasst sowohl Multiple-Choice-Items als auch Items mit offenem Antwortformat. Die Fragen beziehen sich auf typische Präkonzepte von Drittklässlern: Auf nicht belastbare Konzepte (z.B.: "Alles, was schwer ist, sinkt; alles, was leicht ist, schwimmt." oder "Luft zieht Sachen nach oben, deshalb schwimmen alle Sachen, in denen Luft ist."), auf belastbare Konzepte (z.B.: "Alles, was voll aus Metall ist, geht unter." oder "Sachen aus Metall müssen hohl sein, damit sie schwimmen, weil die Luft so leicht ist.") und auf vorphysikalische Konzepte (z.B.: "Das Schiff schwimmt, weil es so viel Platz im Wasser braucht. Das Wasser drückt dann ganz doll dagegen. Wenn das weggedrängte Wasser schwerer ist als das Schiff, dann kann es das Schiff nach oben drücken, sonst verliert es gegen das Gewicht."). Außerdem lösten die Kinder nach dem Unterricht einen Transfertest.

Zur Erhebung der nicht leistungsbezogenen Variablen Interesse, Motivation und selbstbezogene Kognitionen füllten die Kinder vor und nach dem Unterricht einen Fragebogen aus; nach dem Unterricht wurde zudem die Erfolgsszuversicht, die Lernzufriedenheit wie auch die empfundene Kompetenz, das empfundene Engagement und die empfundene konstruktivistische Orientierung des Unterrichts erhoben.

Mit verschiedenen Screeningverfahren überprüften wir die Einhaltung der Unterschiede zwischen den beiden Unterrichtsdesigns. Die Zuordnung der Videoaufnahmen der Unterrichtsstunden zu den Bedingungen durch 12 unabhängige Beobachter anhand der Kriterien für Unterricht MIT und OHNE gelang problemlos. Auch ein Screening der gemeinsamen Gesprächsphasen im Hinblick auf eine mehr oder weniger strukturierende Gesprächsführung durch die Lehrkraft ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen.<sup>39</sup>

Die Auswertungen der Multiple – Choice Items – der Tests zum Schwimmen und Sinken, in die sowohl die richtig angekreuzten Antworten auf mittlerem und

hohem Verständnisniveau (also belastbare Konzepte und physikalische Vorkonzepte) als auch die korrekt abgelehnten nicht belastbaren Konzepte eingingen, ergaben, dass die Kinder in beiden Unterrichtsbedingungen ihr konzeptuelles Verständnis signifikant verbessern konnten. So meinten z.B. vor dem Unterricht ca. die Hälfte der Kinder, dass ein sehr schwerer Baumstamm untergeht, weil er so schwer ist. Nach dem Unterricht antworteten fast 100 % der Kinder korrekt, wobei sie recht anspruchsvolle Erklärungen abgaben: "Schwimmt, weil er aus Holz ist. Und weil er genug Wasser wegdrängt", "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 den Beispielen zeigt sich, dass die Kinder ihre zuvor auf den Gewichtsaspekt 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, die für den Auftrieb verantwortlich ist bzw. auf einen Vergleich der Dichte von Gegenstand und Wasser. Dass es sich hierbei nicht um auswendig gelernte Antworten handelt, zeigt sich schon in der Vielfalt der gegebenen, selbst formulierten Begründungen.

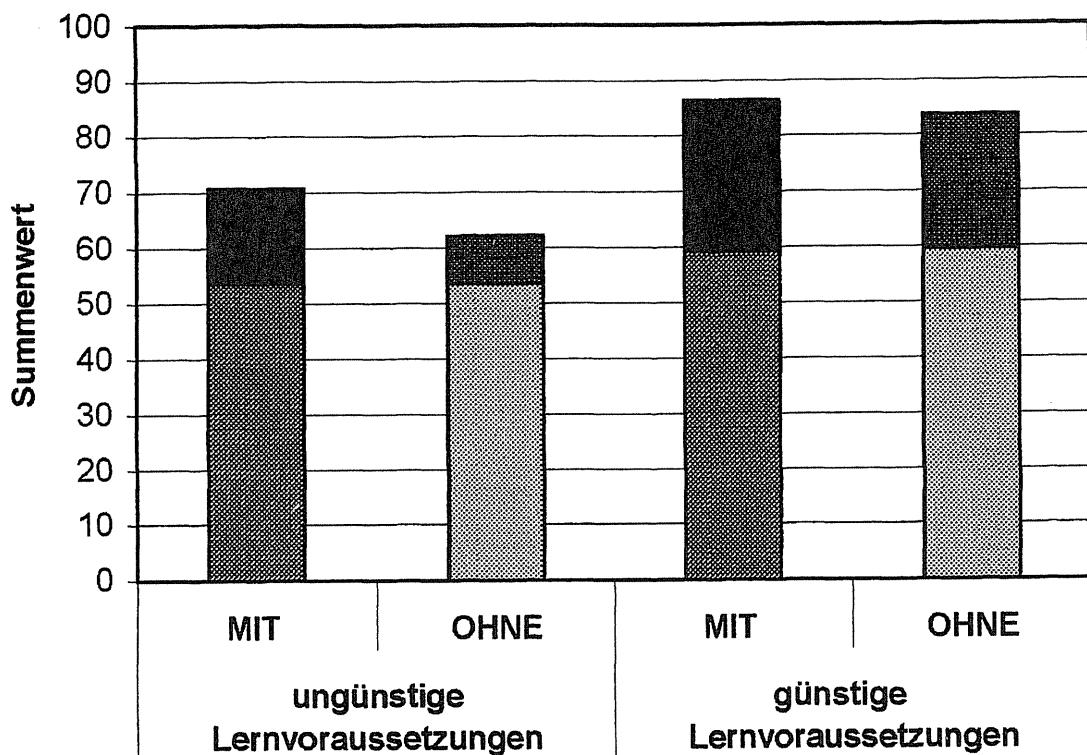
Wie vermutet, ermöglichte der Unterricht MIT einen größeren Lerngewinn als der Unterricht OHNE. Im Transfertest war dieser Unterschied zugunsten der MIT-Gruppe noch ausgeprägter.

Ebenfalls wie erwartet, zeigte sich in beiden Gruppen eine signifikante Abnahme der Fehlkonzepte im schriftlichen Test; die Gruppe MIT baute dabei signifikant mehr Fehlkonzepte ab als die Gruppe OHNE. Es zeigte sich zudem, dass auch leistungsschwächere Kinder in beiden Unterrichtseinheiten signifikant dazulernen; dabei profitierten sie vom Unterricht MIT allerdings stärker als vom Unterricht OHNE. Die leistungsstärkeren Schüler verbesserten sich ebenfalls signifikant; allerdings gab es hier keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen (vgl. Abb.).

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

In der Nachbefragung wird dagegen die entscheidende Rolle des Wassers für die Auftriebskraft betont. Dabei werden Zusammenhänge zwischen der Verdrängung, der Auftriebskraft und dem Schwimmen und Sinken von Gegenständen hergestellt: Kind A: "Das Wasser will auf sein alten Platz zurück, und das Wasser drückt es (das Schiff) nach oben." Kind B: "Das Schiff drängt ja Wasser weg und dieses Wasser trägt das Schiff, weil das Wasser schwerer und stärker ist, hat es mehr Kraft das

Abbildung: Leistungszuwächse im Posttest<sup>40</sup>



Prätestwerte (helle Farben) und Posttestwerte (dunkle Farben) im Summenwert des Tests zum Schwimmen und Sinken für Kinder mit günstigen und ungünstigen Lernvoraussetzungen im Unterricht MIT und OHNE. Maximal konnten die Kinder in dem Test 104 Punkte erreichen. Die Ratewahrscheinlichkeit lag recht hoch bei ca. 55 %. Das ist bei der Interpretation der hohen Anfangswerte und der Lernzuwächse zu berücksichtigen.

das Schiff zu tragen. Wenn das Wasser weniger wiegt als das Schiff dann würde das Schiff untergehen." Dabei ereignen sich auch reflektierte Konzeptwechsel: Kind C: "Das liegt nicht an der Luft, das liegt auch nicht an das glachgewicht, es liegt an den Wasser."

Diese Beispiele zeigen, dass auch im Hinblick auf die übergeordnete, komplexe Fragestellung erhebliche Konzeptwechsel stattgefunden haben und die Grundschulkinder bereits ein beachtliches Verständnisniveau erreicht haben.

Bei den nicht-leistungsbezogenen Variablen zeigten sich keine Unterschiede im Hinblick auf Interesse, fremdbestimmte Motivation, selbstbezogene Kognitionen, die empfundene konstruktivistische Orientierung und die Lernzufriedenheit. Signifikante Unterschiede zugunsten der Gruppe mit stärkerer Strukturierung ergaben sich bei der selbstbestimmten Motivation, der empfundenen Kompetenz, dem empfundenen Engagement und der Erfolgszuversicht.<sup>41</sup>

## 5.4 Diskussion

Die bisherigen Ergebnisse unserer Studie zeigen, dass bereits Grundschulkinder in anspruchsvollen naturwissenschaftlichen Themenbereichen bei hoher kognitiver Eigentätigkeit beträchtliche Lernerfolge erreichen können. Die beiden untersuchten, an konstruktivistischen Lerntheorien ausgerichteten Lehr-Lernumgebungen stellen demnach trotz des anspruchsvollen Inhaltsbereiches keine Überforderung für Grundschulkinder dar, da leistungsstärkere wie -schwächere Kinder dazu gelernt haben. Das zeigt sich auch in den durchweg hohen erreichten Werten bei den nicht-leistungsbezogenen Variablen, insbesondere in der ausgesprochen hohen Lernzufriedenheit in beiden Gruppen. Zu vermuten ist, dass gerade das eigene Experimentieren und das Selber-Herausfinden-Können, verbunden mit Verstehens- und Kompetenzerlebnissen, zu dieser hohen Lernzufriedenheit in beiden Gruppen geführt hat.

Die Gruppe mit stärkerer Strukturierung erreicht dabei bessere kognitive Ergebnisse als die Gruppe mit stärkerer Selbststeuerung und höherer Komplexität der Lernumgebungen. Offensichtlich ist die von Weinert angemahnte Balance zwischen Selbststeuerungsmöglichkeiten und Komplexitätsreduktion in der Gruppe MIT besser realisiert. Kinder können vorhandene Konzepte in anspruchsvollen Inhaltsgebieten, in denen nur geringe Vorerfahrungen vorliegen, eher differenzieren, korrigieren bzw. entsprechende Konzepte neu aufbauen, wenn strukturierende Hilfen die konstruktive Aktivität unterstützen. In unserer Untersuchung erwiesen sich die Sequenzierung von Inhalten und eine strukturierende Gesprächsführung als förderlich. Es ist zu vermuten, dass insbesondere Themenbereiche, die eine hohe Komplexität und eine relativ hierarchische Inhaltsstruktur aufweisen, auf strukturierende Maßnahmen angewiesen sind, wenn eine Überforderung vermieden werden soll. Fehlen diese unterstützenden Hilfen, so zeigen insbesondere leistungsschwächere Kinder geringere Lernerfolge, vor allem beim Abbau von nicht belastbaren Konzepten, da die erforderliche Fokussierung auf relevante Merkmale und auf kognitive Widersprüche Schwierigkeiten bereitet. Für die leistungsstärkeren zeigt sich dagegen in beiden Lehr-Lernumgebungen kaum ein Unterschied in Bezug auf die kognitiven Lernerfolge; diese Kinder nutzen auch in komplexen, wenig unterstützten Lehr-Lernumgebungen von sich aus die gebotenen Lernchancen.

In beiden Gruppen sind Motivation und Interesse am Unterricht gleich stark ausgeprägt, ebenfalls die Lernzufriedenheit. Anders als häufig in der Literatur berichtet, wirkt sich die stärkere Strukturierung nicht negativ auf die nicht-leistungsbezogenen Variablen aus. Die Kinder der Gruppe mit stärkerer Strukturierung fühlen sich dabei sogar selbstbestimmter motiviert als die Kinder der Gruppe mit geringerer Strukturierung. Dieses Ergebnis steht in Übereinstimmung mit bereits berichteten Ergebnissen<sup>42</sup>, nach denen die empfundenen und nicht die objektiv vorhandenen Selbstbestimmungsmöglichkeiten von den Kindern eingeschätzt werden. Möglicherweise erleben sich die Kinder der Gruppe mit geringerer Strukturierung deshalb nicht als so stark selbstbestimmt, weil sie die gebotenen Freiräume und Lernchancen nicht optimal nutzen können. Die stärker strukturierte Lernumgebung wird auch im Hinblick auf das empfundene Engagement und die erlebte Kompetenz von den Kindern

als positiver eingeschätzt; das wiederum scheint die nach dem Unterricht erhobene Erfolgsszuversicht positiv zu beeinflussen.

Die Ergebnisse zeigen insgesamt, dass Lehr-Lernumgebungen, die an konstruktivistischen Lerntheorien orientiert sind, eine hohe kognitive Eigenaktivität fordern und dabei weitgehend auf instruktionale Erklärungen verzichten, durch zusätzliche strukturierende Maßnahmen konzeptuelles Verständnis und nichtleistungsbezogene Zielsetzungen gleichermaßen optimieren.

Während unsere Untersuchung sich auf eine relativ kurzfristige Intervention beschränkte, bei der der konzeptuelle Aufbau von Wissen im Vordergrund stand, berichten Smith et. al. von einer Studie, in der nach einem sechsjährigen, an sozial-konstruktivistischen Lerntheorien orientierten Unterricht das Wissenschaftsverständnis von Sechstklässlern untersucht und mit Kindern einer "normal" unterrichteten Klasse verglichen wurde.<sup>43</sup> Die Ergebnisse waren deutlich: Die Schüler von Hennessy hatten ein weiter entwickeltes Verständnis von Naturwissenschaften als die Kontrollklasse. Dabei erreichten die Sechstklässler ein Niveau, was in vergleichbaren Untersuchungen nicht einmal bei älteren Schülern der High-School und teilweise nicht einmal bei Erwachsenen angetroffen wird. Während die Schüler aus der Kontrollklasse am Ende des sechsten Schuljahres naturwissenschaftliches Arbeiten als einen Prozess beschrieben, indem man bestimmte Dinge tut, Antworten und Lösungen findet und Informationen auf der Basis von Beobachtungen ansammelt, verstanden die Schüler der Experimentalklasse die Arbeitsweise in den Naturwissenschaften dagegen verstärkt als Verstehen, Entwickeln und Testen von Ideen, wobei die Zusammenarbeit mit anderen wichtig ist.

Wie sah nun der Unterricht in der Experimentalklasse von Hennessy aus?

Smith beschreibt den an sozial-konstruktivistischen Ideen orientierten Unterricht wie folgt: Der Unterricht beginnt mit Phänomenen, die zu Fragen herausfordern. Dabei gibt die Lehrerin den Schülern Freiräume zum Verfolgen eigener Ideen in authentischen Kontexten, d.h. in Kontexten, die für die Schüler sinnvoll sind und Interesse erwecken. Die Themen sollten von größerer disziplinärer Bedeutung sein. Im Unterricht unterstützt die Lehrerin die Schüler darin, Ideen zu äußern, diese auf verschiedene Art und Weise darzustellen, mitzuteilen und zu klären. Die Sprache und zeichnerische Darstellungen spielen dabei eine große Rolle. Sie legt besonderen Wert auf diskursive, reflexive Prozesse in der Schülergemeinschaft und auf die Kooperation unter den Schülern. Die Schüler bilden eine soziale Lernergemeinschaft, die sich gemeinsam um die Überprüfung von Ideen bemüht. Das Gespräch zwischen Schülern und Lehrkraft ist dabei – im Gegensatz zum häufig üblichen Schema: Lehrerfrage, Schülerantwort, Lehrerbewertung – eher ein reflektierter Diskurs, indem die Lehrkraft dazu anregt, Ideen mit früheren Ideen zu vergleichen und auf ihre Verständlichkeit und Belastbarkeit hin zu prüfen.

Vergleicht man diese Merkmale mit dem von uns erprobten Unterricht, so fallen viele Übereinstimmungen ins Auge: Herausfordernde Phänomene oder Probleme stehen am Anfang des Unterrichts. Im Erkunden von Phänomenen und beim Lösen von Problemen machen Schüler Erfahrungen. Die Schüler bringen ihre Vorstellungen in den Deutungs- und Lösungsprozess ein, korrigieren diese ggf. und ent-

wickeln sie weiter, wobei das gemeinsame Gespräch eine zentrale Rolle spielt. Die Lehrkraft hält sich zurück, unterstützt aber die Schüler im Klären, Entwickeln und Überprüfen von Ideen und fordert dabei Begründungen und Anwendungen ein. Die gewählten Themen sollen für die Schüler interessant und von möglichst exemplarischer Bedeutung sein, Schlüsselerkenntnisse ermöglichen und Schüler interessieren.

Lehr-Lernumgebungen, die durch die beschriebenen Merkmale gekennzeichnet sind, werden in der Literatur unterschiedlich bezeichnet. Sowohl der exemplarisch-genetische Unterricht wie auch der (gelenkt-) entdeckende<sup>44</sup> und problemorientierte Unterricht weisen eine starke Affinität zu den hier beschriebenen, an konstruktivistischen Lerntheorien orientierten Lehr-Lernumgebungen auf.<sup>45</sup>

Mit strukturierenden Maßnahmen lässt sich in solchen Lehr-Lernumgebungen die von Weinert angemahnte Balance zwischen Selbststeuerungsmöglichkeiten und Lehrerunterstützung realisieren, so dass sich auch in kognitiv anspruchsvollen Bereichen eine multikriteriale Zielerreichung verwirklichen lässt.

## 6 Anspruchsvolles Lernen in der Grundschule: Interessieren, Fordern, Fördern

Wir fühlen uns aufgrund der vorliegenden Untersuchungen in der Annahme bestätigt, dass der Sachunterricht der Grundschule stärker als bisher für ein Lernen im Vorfeld von Naturwissenschaften und Technik genutzt werden sollte. Der Unterricht muss Kindern dabei Gelegenheit geben, ihre Ideen und Deutungen in Gesprächen zu entwickeln, diese anhand von Experimenten zu überprüfen und Erklärungen zu konstruieren. Auf eigensprachliche Formulierungen ist Wert zu legen, auch wenn diese dem wissenschaftlichen Sprachgebrauch noch nicht entsprechen. Als Gegenstand des Unterrichts sollten Phänomene oder Probleme gewählt werden, die das Interesse von Grundschulkindern erwecken und alltagsweltliche Zusammenhänge erhellern. Besonders wichtig ist dabei die Auseinandersetzung mit den vorhandenen Präkonzeptionen und deren Überprüfung auf Belastbarkeit.

Dass wir Grundschulkinder mit einem solchen Unterricht nicht überfordern, zeigt sich an dem hohen entgegengebrachten Interesse, das sich besonders deutlich in der Beharrlichkeit und Ausdauer zeigt, mit der Kinder ihre "Theorien" miteinander diskutieren. Nach dem Unterricht befragte Kinder charakterisierten das Erlebte als "anstrengend"; sie kommentierten diese Aussage aber gleichzeitig durch den Satz "Es war schön, sich anzustrengen." Lehrpersonen, die an dem von uns durchgeführten Unterricht beobachtend teilnahmen, waren überrascht, dass wirklich (fast) alle Kinder ausgesprochen intensiv mitarbeiteten und in der Lage waren, häufig über eine ganze Stunde hinweg mögliche Erklärungen zu diskutieren, ohne dass die Lösung von der Lehrkraft gegeben wurde.

Unsere Beobachtungen legen nahe, dass Grundschulkinder geradezu das Bedürfnis haben, ihre zunehmend sich entwickelnden kognitiven Fähigkeiten zu erproben und deshalb anstrengende und anspruchsvolle Lernsituationen als motivie-

rend empfinden. Unterricht muss deshalb ausreichend Zeit bieten, um Kindern Gelegenheit zur Entfaltung ihrer Gedankengänge und zur Erprobung ihrer Denkfähigkeiten zu geben.

Sachunterricht, der Kinder anspruchsvoll fordern und fördern möchte, benötigt Muße! Aufgabe der Grundschule ist es, die hierfür notwendigen Freiräume vor anderweitigen Ansprüchen zu schützen.

Was erreichen wir mit einem solchen Unterricht?

Neben dem Aufbau konzeptuellen Wissens und dem Verstehen einiger grundlegender, interessanter Zusammenhänge fördert ein kognitiv anspruchsvoller Unterricht insbesondere Arbeits- und Denkweisen, die auf naturwissenschaftliche Verfahren und Herangehensweisen vorbereiten. Über den naturwissenschaftlichen Bereich hinaus arbeitet ein solcher Unterricht dabei immer auch an der Entwicklung einer allgemeinen Wissenschaftsverständigkeit.

Die als motivierend und interessant erlebten Lernsituationen können auch die Entwicklung von Interesse am naturwissenschaftlich-technischen Bereich begünstigen. Für weitere Lernprozesse ebenso wichtig ist die Kompetenz, die Kinder durch das Verstehen interessanter Phänomene und durch das Anwenden-Können des Gelernten erleben. Auch soziale Verhaltensweisen werden gefördert: Indem Grundschulkinder lernen, Erklärungen nicht einfach hinzunehmen, sondern nach deren Stimmigkeit zu fragen, eigene Deutungen zu begründen, auszutauschen und im Dialog zu überprüfen, üben sie das argumentative, diskursive Gespräch mit anderen und erwerben dabei auch wesentliche soziale Fähigkeiten.

Für den Unterricht in den weiterführenden Schulen bieten die von den Schülern aufgebauten Vorstellungen und Denkweisen ebenso wie die entwickelte Lernzuvorsicht und Lernmotivation gute Voraussetzungen. In diesem Sinne kann die Grundschule einen wesentlichen Beitrag zur Förderung des späteren naturwissenschaftlichen Unterrichts leisten.

An die Lehrkräfte stellt ein kognitiv fordernder Unterricht hohe Ansprüche. So wurde von den am Unterricht teilnehmenden Lehrpersonen geäußert, dass ein erhebliches Wissen über Lernprozesse, über die Vorstellungen und Denkweisen der Kinder wie auch über fachliche Hintergründe notwendig sei, um Kinder in ihrem Denken angemessen fordern und fördern zu können. Als besonders schwierig erscheint die von instruktiver Lenkung zu unterscheidende Art der Lehrerintervention, die sich in der Fähigkeit zeigt, durch geeignete Impulse und Strukturierungshilfen kognitive Aktivitäten anzuregen. Auch die Auswahl der Inhalte stellt hohe Ansprüche an die Kompetenz der Lehrkräfte. Die Inhalte sollen sowohl für Grundschulkinde befriedigende und interessante Lernmöglichkeiten eröffnen, andererseits aber auch anschlussfähig sein für das Lernen in den späteren Fächern. Der Aus- und Fortbildung der zumeist inhaltlich nicht vorgebildeten Lehrpersonen kommt deshalb besondere Bedeutung zu.

Vergleicht man die sich abzeichnenden Perspektiven für einen anspruchsvollen, interessierenden, fordernden und fördernden Grundschulunterricht mit den grundlegenden Ideen der Bildungsreform der 70er Jahre, so stellt man fest, dass heutige und damalige Forderungen ausgesprochen kongruent sind:

- Die damalige Einschätzung der Lernfähigkeit der Kinder wird durch neuere Untersuchungen, insbesondere durch die bereichsspezifischen Theorien der geistigen Entwicklung eindrucksvoll untermauert.
- Auch die damalige Forderung, individuelle Lernvoraussetzungen zu ermitteln, um Inhalte so darzubieten, dass sie an die Erfahrungswelt der Kinder anknüpfen und individuell verarbeitet werden können, ist vor dem Hintergrund der aktuellen Präkonzept- und Conceptual-Change-Forschung höchst aktuell.
- Stützung durch Ansätze der situierten Kognition findet die damalige Forderung, Fragen aufzugreifen, die das Interesse von Kindern erregen und die Kinder geklärt haben wollen.
- Die Affinität der im Strukturplan herausgehobenen Formen des entdeckenden und problemorientierten Lernens zu Lehr-Lernumgebungen, die sich am konstruktivistischen Lernbegriff orientieren, wurde schon hervorgehoben.
- Fast wörtliche Entsprechungen finden sich auch in den Ausführungen des Strukturplans zur "neuen" Lehrerrolle, nach denen die Lehrkraft kognitive Aktivitäten unterstützen, nicht aber Ergebnisse vermitteln soll.

Zu hoffen ist, dass die hier vorgestellten, in den letzten dreißig Jahren erarbeiteten Perspektiven für einen anspruchsvollen, fordernden und fördernden Grundschulunterricht dazu beitragen, bei der zu erwartenden Implementierung entsprechender Inhalte eine Wiederholung damaliger Fehlentwicklungen zu vermeiden.

### *Anmerkungen*

1. Vgl. Deutscher Bildungsrat: Empfehlungen der Bildungskommission. Strukturplan für das Bildungswesen. Stuttgart 1972, 4. Aufl.
2. H. Roth (Hg.): Begabung und Lernen. Ergebnisse und Folgerungen neuerer Forschung (= Deutscher Bildungsrat. Gutachten und Studien der Bildungskommission, Bd. 4). Stuttgart 1970.
3. Deutscher Bildungsrat: Empfehlungen der Bildungskommission. Strukturplan für das Bildungswesen. A.a.O. S.134.
  4. mit "Schülern" sind immer auch Schülerinnen gemeint.
  5. Ebda. S.48;133;135.
  6. Ebda. S.133;135;136.
7. H. Roth (Hg.): Begabung und Lernen. Ergebnisse und Folgerungen neuerer Forschung. A.a.O.
8. Deutscher Bildungsrat: Empfehlungen der Bildungskommission. Strukturplan für das Bildungswesen. A.a.O. S.134.
9. Auf die einzelnen Kritikpunkte soll im Rahmen dieses Beitrags nicht weiter eingegangen werden. Vgl. hierzu z.B. E. Schwartz: Heimatkunde oder Sachunterricht? Keine Alternative! In: E. Schwartz (Hg.): Von der Heimatkunde zum Sachunterricht. Braunschweig 1977. S.9-23. – E. Neuhaus-Siemon: Reform der Grundschule. Bad Heilbrunn 1991, 5. Aufl. S.301-328. – M. Soostmeyer: Zur Sache Sachunterricht. Frankfurt a. M., Berlin, Bern, New York, Paris, Wien 1988. – G. Beck/C. Claussen: Einführung in Probleme des Sachunterrichts. Königstein/Ts. 1979, 2. Aufl. – W. Köhnlein/H. Schreier (Hg.): Innovation Sachunterricht – Befragung der Anfänge nach zukunftsfähigen Beständen. (= Forschungen zur Didaktik des Sachunterrichts, Bd. 4) Bad Heilbrunn 2001.
10. Erstaunlicherweise fanden, obwohl von Roth im Band "Begabung und Lernen" genannt (vgl. dort S.39), deutsche Konzeptionen zu einem explizit wissenschaftsorientierten und kindgemäßen Unterricht, zum Beispiel der mit dem Namen Wagenschein

verknüpfte genetische Unterricht, keine Erwähnung im Strukturplan. Über die Gründe dieser ausschließlichen Orientierung des neuen Sachunterrichts an der amerikanischen Curriculumentwicklung kann man spekulieren. Sicherlich hatte die breite Amerikanisierung des damaligen gesellschaftlich-politischen Feldes einen Anteil daran; auch besaßen die den amerikanischen Ansätzen zugrundeliegenden Lern- und Curriculumtheorien zur damaligen Zeit eine höhere Akzeptanz als spezifisch deutsche Problemlösungen. Hinzu kommt, dass grundschulspezifische Ansätze zum genetischen Lernen sensu Wagenschein noch kaum vorlagen; die von Siegfried Thiel veröffentlichten Tübinger Unterrichtsprotokolle erschienen erst 1973. Eine kritische Auseinandersetzung mit den damaligen Ansätzen aus der Retrospektive findet sich in dem Band von W. Köhnlein/H. Schreier: Innovation Sachunterricht – Befragung der Anfänge nach zukunftsfähigen Beständen. A.a.O.

11. T. Bredermann: Effects of Activity-Based Elementary Science on Students Outcomes. A Quantitative Synthesis. In: Review of Educational Research 4/1983. Washington D.C. p.499-518.

12. Vgl. z.B. E. Klewitz: Die englische Primarstufenreform und Anfänge des offenen Unterrichts. In: W. Köhnlein/H. Schreier (Hg.): Innovation Sachunterricht. Befragung der Anfänge nach zukunftsfähigen Beständen. A.a.O. S.271-234. – H. Schwedes: Das Curriculum Science 5/13. Sein Konzept und seine Bedeutung. In: W. Köhnlein/H. Schreier (Hg.): Innovation Sachunterricht. Befragung der Anfänge nach zukunftsfähigen Beständen. A.a.O. S. 133-152.

13. R.M. Giaconia/R.V. Hedges: Identifying features of effective open education. In: Review of Educational Research 4/1982. Washington D.C. p.579-602.

14. Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (GDSU) (Hg.): Perspektivrahmen Sachunterricht. Bad Heilbrunn 2002.

15. Vgl. z.B. W. Köhnlein: Vielperspektivität und Ansatzpunkte naturwissenschaftlichen Denkens. Analyse von Unterrichtsbeispielen unter dem Gesichtspunkt des Verstehens. In: W. Köhnlein/B. Marquardt-Mau/H. Schreier (Hg.): Vielperspektivisches Denken im Sachunterricht (= Forschungen zur Didaktik des Sachunterrichts, Bd. 3). Bad Heilbrunn 1999. S.88-124.

16. Vgl. K. Möller: Wissenserwerb und Wissensqualität im naturwissenschaftsbezogenen Sachunterricht. In: J. Kahlert/E. Inckemann: Wissen, Können und Verstehen – über die Herstellung ihrer Zusammenhänge im Sachunterricht (= Probleme und Perspektiven des Sachunterrichts, Bd. 11). Bad Heilbrunn 2001. S.115-126.

17. Das genetische Prinzip beschränkt sich nicht auf die naturwissenschaftliche Perspektive des Sachunterrichts; Köhnlein hat dargelegt, dass es sich um ein grundlegendes Prinzip für Sachunterricht handelt. Auch in den anderen Perspektiven des Sachunterrichts geht es um das Aufgreifen kindlicher Erfahrungen und Vorstellungen und um das konstruktive Weiterentwickeln von Vorstellungen hin zu belastbaren Konzepten, wie Kahlert in einer jüngeren Veröffentlichung hervorhebt (J. Kahlert: Sachunterricht in der Grundschule. In: M. Fölling-Albers/S. Richter/H. Brügelmann/A. Speck-Hamdan (Hg.): Kindheitsforschung. Forschung zum Sachunterricht. Jahrbuch Grundschule, Bd. 3.: Fragen der Praxis – Befunde der Forschung. Seelze 2001. S.64-88.).

18. W. Köhnlein: Vielperspektivität und Ansatzpunkte naturwissenschaftlichen Denkens. Analyse von Unterrichtsbeispielen unter dem Gesichtspunkt des Verstehens. A.a.O.

19. Zur Kontinuitätshypothese in der Didaktik vgl. G. Löffler/W. Köhnlein: Weg in die Naturwissenschaften – ein bruchloser Weg? In: physica didactica 4/1985. Bad Salzdetfurth. S.39-50 und, zwischen den Positionen vermittelnd, G. Wiesenfarth: Kontinuität oder Diskontinuität – eine überflüssige Diskussion? In: R. Lauterbach/W. Köhnlein/K. Spreckelsen/H.F. Bauer (Hg.): Wie Kinder erkennen. (= Probleme und Perspektiven des Sachunterrichts, Bd. 1). Kiel 1991. S.98-122.

20. W. Einsiedler/G. Schirmer: Sachunterrichtsreform und Unterrichtsgestaltung. In: Die deutsche Schule 78/1986. Weinheim. S.316-326. – H. Schreier: Sachunterricht – Themen und Tendenzen. Paderborn 1979.

21. Da die Inhalte der Schulbücher in der Regel mit Inhalten von Lehrplänen korrelieren, kann von einem zumindest indirekten Zusammenhang zwischen Unterricht und Schulbüchern ausgegangen werden. Vgl. B. Blaseio: Inhaltsstruktur und Tendenzen der Inhalte im Sachunterricht. Eine empirische Bestandsaufnahme der Inhalte des Sachunterrichts in den 70er, 80er und 90er Jahren anhand von Unterrichtslehrwerken. In: K. Spreckelsen/K. Möller/A. Hartinger (Hg.): Ansätze und Methoden empirischer Forschung zum

Sachunterricht (= *Forschungen zur Didaktik des Sachunterrichts*, Bd. 5). Bad Heilbrunn 2002, S.205-222.

22. U. Strunck/G. Lück/R. Demuth: Der naturwissenschaftliche Sachunterricht in Lehrplänen, Unterrichtsmaterialien und Schulpraxis – eine quantitative Analyse der Entwicklung in den letzten 25 Jahren. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften. Biologie, Chemie, Physik*. 1/1998. Kiel. S.77. – W. Einsiedler: The Curricula of Elementary Science Education in Germany. Erlangen-Nürnberg 1998. S. 14.

23. Vgl. F. Lipowsky: Zur Qualität offener Lernsituationen im Spiegel empirischer Forschung – Auf die Mikroebene kommt es an. Erscheint in: U. Drews/W. Wallrabenstein (Hg.): *Freiarbeit in der Grundschule*. (Arbeitstitel). Arbeitskreis Grundschule.

24. B. Sodian: Entwicklung bereichsspezifischen Wissens. In: R. Oerter/L. Montada (Hg.): *Entwicklungspsychologie*. Weinheim 1995, S.622-653. – E. Stern: Wie abstrakt lernt das Grundschulkind? Neuere Ergebnisse der entwicklungspsychologischen Forschung. Erscheint in: H. Petillon (Hg.): *Jahrbuch Grundschulforschung*, Bd. 5, Opladen 2002.

25. M. Bullock/A. Ziegler: Scientific reasoning. Developmental changes and individual differences. In: F.E. Weinert/W. Schneider (Hg.): *Individual development between three and twelve. Findings from a longitudinal study*. Cambridge 1999.

26. S. Thiel: Grundschulkinder zwischen Umgangserfahrung und Naturwissenschaft. In: M. Wagenschein (Hg.): *Kinder auf dem Wege zur Physik*. Weinheim, Basel 1990. S.90-180. – M. Soostmeyer: Zur Sache Sachunterricht. A.a.O. – K. Möller: Handeln, Denken und Verstehen. Untersuchungen zum naturwissenschaftlich-technischen Sachunterricht in der Grundschule. *Naturwissenschaften und Unterricht. Didaktik im Gespräch*. Essen 1991, 9. Aufl. – W. Köhnlein: Vielperspektivität und Ansatzpunkte naturwissenschaftlichen Denkens. Analysen von Unterrichtsbeispielen unter dem Gesichtspunkt des Verstehens. A.a.O. – A. Engelen/A. Jonen/K. Möller: Lernfortschrittsdiagnosen durch Interviews – Ergebnisse einer Pilotstudie zum „Schwimmen und Sinken“ im Sachunterricht der Grundschule. In: K. Spreckelsen/K. Möller/A. Hartinger (Hg.): *Ansätze und Methoden empirischer Forschung zum Sachunterricht*. A.a.O. S.155-173.

27. Vgl. z.B. R.A. Duschl/R.J. Hamilton: Conceptual change in science and in the learning of science. In: B.J. Fraser/K.G. Tobin (Eds.): *International Handbook of Science Education*. Dordrecht, Boston, London 1998. p.1047-1065. – R. Duit: Conceptual change approaches in science education. In: W. Schnotz/S. Vosniadou/M. Carretero (Eds.): *New Perspectives on Conceptual change*. Amsterdam, New York, Oxford 1999. p.263-282.

28. K. Möller: Konstruktivistisch orientierte Lehr-Lernprozessforschung im naturwissenschaftlich-technischen Bereich des Sachunterrichts. In: W. Köhnlein (Hg.): *Vielperspektivisches Denken im Sachunterricht*. A.a.O. S.125-191.

29. S. Vosniadou/C. Ioannides/A. Dimitrakopoulou/E. Papademetriou: Designing learning environments to promote Conceptual change in science. In: *Learning and Instruction* 4-5/2001. Oxford, Frankfurt a.M. p.317-419. – P.W. Hewson/M.E. Beeth/N.R. Thorley: Teaching for conceptual change. In: B.J. Fraser/K.G. Tobin (Eds.): *International Handbook of Science Education*. A.a.O. p.199-218.

30. J. Gerstenmaier/H. Mandl: Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. In: *Zeitschrift für Pädagogik* 6/1995. Weinheim. S.867-887. – R. Duit/D.F. Treagust: Learning in science – From behaviourism towards social constructivism and beyond. In: B.J. Fraser/K.G. Tobin (Eds.): *International Handbook of Science Education*. A.a.O. p. 3-26. Moderat bzw. inklusive konstruktivistische Auffassungen vom Lernen sollten nicht mit radikal konstruktivistischen, erkenntnistheoretisch ausgerichteten Ansätzen verwechselt werden. Vgl. dazu E. Terhart: Konstruktivismus und Unterricht. Gibt es einen neuen Ansatz in der Allgemeinen Didaktik? In: *Zeitschrift für Pädagogik* 5/1999. Weinheim. S.629-647. – W. Hoops: Konstruktivismus. Ein neues Paradigma für Didaktisches Design? In: *Unterrichtswissenschaft* 3/1998. Weinheim. S.229-253.

31. Vgl. K. Möller: Konstruktivistische Sichtweisen für das Lernen in der Grundschule? In: K. Czerwenka/K. Nölle/H.G. Roßbach (Hg.): *Jahrbuch Grundschulforschung*. Bd. 4. Opladen 2001. S.16-31.

32. W. Einsiedler: Unterrichtsqualität in der Grundschule. Empirische Grundlagen und Programmatik. In: E. Glumpler/S. Luchtenberg (Hg.): *Jahrbuch Grundschulforschung*, Bd. 1. Weinheim 1997, S.11-33. – E. Jürgens: Die 'neue' Reformpädagogik und die Bewegung Offener Unterricht. Theorie, Praxis und Forschungslage. St. Augustin 1995, 2. Aufl. – F.E. Weinert: Psychologische Theoriebildung auf dem pädagogischen Prüfstand. In: *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* 4/1998. Bern, Göttingen. S.205-209.

33. F.E. Weinert: Für und Wider die "neuen Lerntheorien" als Grundlagen pädagogisch-psychologischer Forschung. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* 1/1996. Bern, Göttingen. S.6. – Vgl. dazu auch H.F. Friedrich/H. Mandl: Analyse und Förderung selbstgesteuerten Lernens. In: F.E. Weinert/H. Mandl (Hg.): *Psychologie der Erwachsenenbildung*. Enzyklopädie der Psychologie, Bd. 4. Göttingen 1997. S.237-293. – G. Reinmann-Rothmeier/H. Mandl: Instruktion. In: C. Perlth/A. Ziegler (Hg.): *Pädagogische Psychologie. Grundlagen und Anwendungsfelder*. Bern, Göttingen, Toronto, Seattle 1999. S.207-215.

34. R. Stark/H. Gruber/H. Mandl: Motivationale und kognitive Passungsprobleme beim komplexen situierten Lernen. In: *Psychologie in Erziehung und Unterricht* 3/1998. Weinheim. S.202-215. – A. Renkl/H. Gruber/H. Mandl: Situated learning in instructional settings: From euphoria to feasibility. Ludwig-Maximilians-Universität, Lehrstuhl für Empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie, Forschungsbericht Nr. 74, München 1996. S.16-18.

35. J. Bliss: Piaget und Vygotsky: Ihre Bedeutung für das Lehren und Lernen der Naturwissenschaften. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften. Biologie, Chemie, Physik* 3/1996. Kiel. S.3-16. – R. Dubs: Konstruktivismus: Einige Überlegungen aus der Sicht der Unterrichtsgestaltung. In: *Zeitschrift für Pädagogik* 6/1995. Weinheim. S.896. – K. Möller: Konstruktivistische Sichtweisen für das Lernen in der Grundschule? A.a.O. – Die Bemühungen um eine Balance zwischen Selbststeuerungsmöglichkeiten und Lehrerhilfen erinnern an die in den 70er Jahren geführten Diskussionen um Formen des sog. gelenk-entdeckenden Lernens (vgl. dazu z.B. W. Einsiedler: *Selbststeuerung und Lernhilfen im Unterricht*. In: H. Neber/A.C. Wagner/W. Einsiedler (Hg.): *Selbstgesteuertes Lernen. Psychologische und pädagogische Aspekte eines handlungsorientierten Lernens*. Weinheim, Basel 1978. S.192-213.).

36. S. Gruehn: Vereinbarkeit kognitiver und nicht-kognitiver Ziele im Unterricht. In: *Zeitschrift für Pädagogik* 4/1995. Weinheim. S.531-553.

37. Die Untersuchung wurde von der DFG im Rahmen des Schwerpunktprogramms "Bildungsqualität von Schule" gefördert und fand in Kooperation mit dem Max-Planck-Institut für Bildungsforschung aus Berlin statt. Zur Arbeitsgruppe gehörten Prof. Dr. Elsbeth Stern, Dr. Ilonca Hardy (MPI Berlin), Angela Jonen, Eva Blumberg, Prof. Dr. Kornelia Möller (Universität Münster). Bisherige Ergebnisse sind dargestellt in K. Möller/A. Jonen/I. Hardy/E. Stern: Die Förderung von naturwissenschaftlichem Verständnis bei Grundschulkindern durch Strukturierung der Lernumgebung. Erscheint in: M. Prenzel/J. Doll (Hg.) (einger.): 43. Beiheft der Zeitschrift für Pädagogik. Bildungsqualität von Schule. Bedingungen mathematischer, naturwissenschaftlicher und überfachlicher Kompetenzen. Didaktisch-methodische Implikationen werden diskutiert in E. Stern/K. Möller/I. Hardy/A. Jonen: Warum schwimmt ein Baumstamm? Kinder im Grundschulalter sind durchaus in der Lage, physikalische Konzepte wie Dichte und Auftrieb zu begreifen. In: *Physik Journal* 3/2002. Weinheim. S.63-67. Der beschriebene Unterricht wurde von der Grundschullehrerin Angela Jonen, Mitarbeiterin im BIQUA-Projekt, im Rahmen der DFG-Studie und im Rahmen von Lehrerfortbildungen durchgeführt.

38. C. Smith/S. Carey/M. Wiser: On differentiation: A case study of the development of the concepts of size, weight, and density. In: *Cognition* 21/1985. Lausanne. p.177-237. – C. Smith/D. Maclin/L. Grosslight/H. Davis: Teaching for understanding. A study of students' preinstruction theories of matter and a comparison of the effectiveness of two approaches to teaching about matter and density. In: *Cognition and Instruction* 3/1997. Hillsdale. p.317-393. – S. Haru: Changes in Children's Conceptions through Social Interaction in Pre-school Science Education. Joensuu: University of Joensuu (= Publications in Education No. 60). 2002. – S. Thiel: Grundschulkinder zwischen Umgangserfahrung und Naturwissenschaft. A.a.O. – K. Möller: Konstruktivistisch orientierte Lehr-Lernprozessforschung im naturwissenschaftlich-technischen Bereich des Sachunterrichts. A.a.O.

39. Für dieses Screening wurde ca. ein Drittel des Videomaterials zufällig ausgewählt; dabei wurden beide Gruppen und alle Klassen gleichermaßen berücksichtigt.

40. Aus K. Möller/A. Jonen/I. Hardy/E. Stern: Die Förderung von naturwissenschaftlichem Verständnis bei Grundschulkindern durch Strukturierung der Lernumgebung. A.a.O.

41. Vgl. Hardy, I./Jonen, A./Möller, K./Stern, E./Blumberg, E: Abschlussbericht eines DFG-Projektes im BIQUA Schwerpunktprogramm. Münster/Berlin 2001.

42. A. Hartinger: Selbstbestimmungsempfinden in offenen Lernsituationen. Eine Pilotstudie zum Sachunterricht. In: K. Spreckelsen/K. Möller/A. Hartinger (Hg.): Ansätze und Methoden empirischer Forschung zum Sachunterricht. Bad Heilbrunn 2002. S. 174-184.

43. C.L. Smith/D. Maclin/C. Houghton/M.G. Hennessy: Sixth-Grade Students' Epistemologies of Science: The Impact of School Science Experience on Epistemological Development. In: Cognition and Instruction. Hillsdale 3/2000. p.349-422. Der Unterricht wurde von der Lehrperson Gertrude Hennessy durchgeführt. Die beeindruckende Studie hat leider den Schönheitsfehler, dass zu Beginn der Langzeitintervention keine vergleichenden Prätests durchgeführt werden konnten.

44. Leider wurden die in den siebziger Jahren lernpsychologisch akzentuierten Untersuchungen zu entdeckenden bzw. gelenkt entdeckenden Lehrformen und zu entsprechenden Lernhilfen nicht im erforderlichen Ausmaß weitergeführt. Die statt dessen in der Grundschulpädagogik geführte Diskussion um offene Lernformen griff kognitive Komponenten des Wissenserwerbs nur am Rande auf.

45. Mit Verweis auf die Missverständlichkeiten, die der Begriff "Konstruktivismus" mit sich bringen kann, wird daher in der Literatur teilweise dafür plädiert, die Bezeichnung "konstruktivistisch" nicht zu verwenden. Der Bezug auf konstruktivistisch orientierte Lerntheorien bietet allerdings den Vorteil, dass hierbei weltweit diskutierte und empirisch prüfbare Theorien wie Conceptual-Change-Theorien, social-learning-Theorien, Interessens- und Motivationstheorien wie auch Theorien zur situierten Kognition als Bezugstheorien zur Verfügung stehen. Dieser Vorteil lässt uns, trotz des missverständlichen und teilweise auch inflationär gebrauchten Begriffes "Konstruktivismus" an der von uns gewählten Bezeichnung "an konstruktivistischen Lerntheorien orientierte Lehr-Lernumgebung" festhalten.