

Elsbeth Stern, Kornelia Möller

Der Erwerb anschlussfähigen Wissens als Ziel des Grundschulunterrichtes

Zusammenfassung

In der entwicklungspsychologischen Forschung wurde die überragende Bedeutung des bereichsspezifischen Wissens für den geistigen Fortschritt im Kindesalter nachgewiesen. Auf der Grundlage dieser Ergebnisse plädieren wir dafür, dass in der Grundschule mathematisches und naturwissenschaftliches Wissen erworben wird, an das der Unterricht in der Sekundarstufe anknüpfen kann. In beiden Fächern müssen die Grundlagen für ein konzeptuelles Verständnis gelegt werden, das über Intuition und Alltagserfahrung hinaus geht. Nach einer kurzen Stellungnahme zu den Ergebnissen der IGLU-Studie diskutieren wir drei Schwerpunkte zukünftiger Forschung: 1) Wissensumstrukturierung als entscheidende Determinante des Kompetenzerwerbs; 2) Unterrichtsbezogene Forschung: Besonderheiten der Grundschule; 3) Der Einfluss der Schule auf die allgemeinen geistigen Kompetenzen: Was wird gelernt, aber nicht gelehrt?

Abstract

Research in developmental psychology has shown that domain-specific knowledge is pivotal for intellectual development in childhood. On the basis of these results, we argue that in elementary school, knowledge acquisition in mathematics and the sciences should be structured in view of providing teaching in secondary school with a basis to build on. In both subjects, elementary school teaching should lay the foundation for a conceptual understanding which goes beyond intuition and the experiences of everyday life. After a short comment on the results of the IGLU study, three main fields for future research are discussed: 1) The re-structuring of knowledge as a crucial determinant of competence acquisition; 2) Classroom-centred research: specific features of elementary school; 3) The impact of schooling on general intellectual competences: what is being learned, but not taught?

IGLU und IGLU-E – Entwarnung für die Grundschule?

Noch am selben Tag, als die für Deutschland so beschämenden Ergebnisse der PISA-Studie bekannt gegeben wurden, war eine wichtige Ursache für das schlechte Abschneiden der 15-Jährigen ausgemacht: die unzureichende Förderung der Kinder in der Grundschulzeit. Forderungen nach einer systematischen Vorschulbildung und einer anspruchsvolleren Gestaltung des Grundschulunterrichtes kamen auf. Mit der Veröffentlichung der IGLU-Studie etwa eineinhalb Jahre später wurde das Bild in der Öffentlichkeit etwas relativiert. Dass das Abschneiden der deutschen Grundschüler im internationalen Vergleich

in der Presse überwiegend als Erfolg gewertet wurde, lässt sich allerdings wohl eher aus dem Bedürfnis heraus erklären, nach Monaten der exzessiven Schwarzmalerei der deutschen Zustände einen optimistischen Gegenpol zu schaffen. Der ersten Analyse der Grundschulstudie (BOS u.a. 2003a) werden in den nächsten Jahren weitere folgen; aber bereits die vorliegenden Ergebnisse zu den drei Leistungsbereichen Lesekompetenz, Mathematik und naturwissenschaftliches Verständnis weisen darauf hin, dass es auch beim deutschen Grundschulunterricht Optimierungsbedarf gibt.

Im Zentrum der IGLU-Studie stand die Lesekompetenz, die zeitgleich in anderen Ländern erhoben wurde. Die deutschen Grundschülerinnen und -schüler erreichten hier einen Rangplatz im oberen Leistungsdrittel (BOS u.a. 2003b, S. 101) und schnitten damit besser ab als in der PISA-Untersuchung. Allerdings ist ein Vergleich der Ergebnisse von IGLU und PISA schwierig, da unterschiedliche Tests eingesetzt wurden, in IGLU eine Klassenstufe, in PISA dagegen eine Altersstufe getestet wurde und zudem einige der leistungsstarken PISA-Länder in IGLU nicht vertreten waren. Es fehlten in der IGLU-Studie insbesondere einige der leistungsstarken ostasiatischen Länder, wie z.B. Japan¹. Auch weisen einige der an der IGLU-Studie beteiligten Länder strukturelle sprachliche Unterschiede auf, die sich auf den Schriftspracherwerb auswirken und einen Leistungsvergleich erschweren. Je mehr Unregelmäßigkeiten es bei der Übertragung von Lauten auf Buchstaben gibt, um so länger dauert der Schriftspracherwerb. Da im Englischen die Graphem-Phonem-Korrespondenz weniger eindeutig ist als im Deutschen, stellt Lese-Rechtschreib-Schwäche traditionell in den anglo-amerikanischen Ländern ein größeres Problem dar als in vielen anderen Ländern. Vor diesem Hintergrund ist bemerkenswert, dass sowohl England als auch die USA bessere Ränge in der Leseleistung einnehmen als Deutschland. Offensichtlich werden gerade in diesen beiden Ländern Anstrengungen im Leseunterricht unternommen, an denen wir uns orientieren könnten (zur Graphem-Phonem-Konversion vgl. HARRIS/HATANO 1999).

Die im Zuge der IGLU-E-Studie in Deutschland gemessenen mathematischen Kompetenzen wurden mit den Ländern verglichen, die 1995 an der TIMS-Grundschulstudie teilgenommen hatten; die IGLU-Aufgaben stammten vorwiegend aus dem Itempool der TIMS-Grundschulstudie. Ein Vergleich mit den an der TIMS-Studie beteiligten Ländern – darunter auch den leistungsstarken ostasiatischen Ländern – brachte Deutschland einen mit der PISA-Studie vergleichbaren Platz im Durchschnittsbereich ein. Die aus TIMSS und PISA vertrauten Schwächen zeigen sich bereits in der Grundschule: Sobald die mathematischen Begriffe und Strategien auf neue, unvertraute Aufgaben anzuwenden sind, bleiben die Leistungen deutscher Schüler hinter denen anderer Länder zurück. Insgesamt konstatiert der IGLU-E-Bericht von WALTHER u.a. (2003), dass bei ca. 60% der Grundschulkinder im Hinblick auf die erreichten Bildungsergebnisse der Grundschule und im Hinblick auf den Anspruch der weiterführenden Schulen Nachholbedarf im Erwerb der mathematischen Fähigkeiten besteht (S. 217f.). Auch zwei Vergleiche mit den Mathematikleistungen der SCHOLASTIK-Stichprobe sprechen für Optimierungsbedarf bei der Grundschulmathematik: Schüler aus Vietnam (HELMKE u.a. im Druck) und aus der Slowakei (STERN/SOKOLOVA/NICOLAUS in Vorbereitung) erbrachten bessere Leistung als vergleichbare Münchener Schüler.

Im Test zum naturwissenschaftlichen Verständnis erlangte Deutschland bei IGLU-E im Vergleich zu den in der TIMS-Grundschulstudie 1995 getesteten Ländern immerhin den 6. Platz. Basis für den Ländervergleich war ein Pool von Items, der bereits in der TIMS-Grundschulstudie eingesetzt worden war. Der von PRENZEL u.a. (2003) gezogene Schluss,

wonach Probleme im naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe nicht auf mangelnde Vorbereitung durch die Grundschule zurückzuführen seien, muss dennoch als übereilt betrachtet werden. Massive Schwächen deutscher Schüler in der Sekundarstufe und im voruniversitären Bereich zeigten sich vor allen Dingen in Physik und Chemie, während der überwiegende Teil der für das internationale Ranking herangezogenen TIMSS-Aufgaben Wissen aus der Biologie abfragte. Biologie ist allerdings im Sachunterricht in Deutschland das Fachgebiet mit der größten Verbreitung, so dass die guten Ergebnisse deutscher Grundschul Kinder nicht überraschen können (EINSIEDLER 2002). Zudem wurde in den Aufgaben zum naturwissenschaftlichen Verständnis überwiegend Faktenwissen bzw. die Anwendung von Faktenwissen abgefragt, z.B. welches Material von Magneten angezogen wird oder Strom leitet (vgl. PRENZEL u.a. 2003, S. 154). Derartiges Wissen kann zwar mit konzeptuellem Verständnis einhergehen, setzt dieses aber nicht notwendigerweise voraus. Es kann auch als isoliertes Faktenwissen abgerufen werden. In einem stärker konzeptuell ausgerichteten Test hätte sich möglicherweise ein anderes Bild ergeben. Außerdem war ein großer Teil der erhobenen Items nicht lehrplanvalid (vgl. Prenzel u.a. 2003, S. 161); das erhobene naturwissenschaftliche Verständnis muss also zu einem beträchtlichen Teil außerhalb der Grundschule erworben worden sein. Auch die ausgeprägten Zusammenhänge zwischen dem Leistungsstand und der sozialen Schicht sowie dem Geschlecht machen deutlich, dass die Grundschule ihrer Bildungsaufgabe, naturwissenschaftliches Verständnis bei allen Kindern zu entwickeln, nur bedingt nachkommt.

Im Übrigen gilt es natürlich bei den Leistungsvergleichen für mathematische Kompetenzen und naturwissenschaftliches Verständnis zu bedenken, dass die Ergebnisse der anderen Länder sieben Jahre früher erhoben wurden und dass viele Länder in der Zwischenzeit im Gegensatz zu Deutschland effiziente Anstrengungen zur Verbesserung des Schulsystems unternommen haben. Dass Deutschland bei einer zeitgleichen Durchführung der TIMSS-Grundschultests zum naturwissenschaftlichen Verständnis einen mittleren und in Mathematik einen hinteren Rangplatz eingenommen hätte, ist nicht unwahrscheinlich. Zudem waren an der IGLU-E-Studie nicht alle Bundesländer beteiligt, so dass nur bedingt von einem nationalen Kennwert gesprochen werden kann.

Bei genauerem Hinsehen kann also nach Bekanntwerden der Ergebnisse der IGLU-Studie keine Entwarnung für die Grundschule gegeben werden. Deutschland muss die Lehrpläne, den Unterricht und die organisatorischen Randbedingungen in dieser Schulstufe genauso kritisch überdenken und reformieren wie in den höheren Schulstufen. Damit derartige Anstrengungen erfolgreich sind, sollten sich auf breiter Ebene die Vorstellungen von der geistigen Entwicklung im Kindesalter an den neueren wissenschaftlichen Erkenntnissen orientieren.

Konkretes Denken im Grundschulalter – eine überholte Vorstellung

Didaktiker des Mathematik- und des Sachunterrichtes sowie Entwicklungspsychologen waren sich seit Jahren darüber einig, dass das Lernpotential der Grundschul Kinder in Deutschland nicht annähernd genutzt wird. Im Mathematikunterricht werden vorwiegend Rechenoperationen eingeübt, während für eine Erweiterung des mathematischen Ver-

ständnisses wenig getan wird. Dass man mit Hilfe von Zahlen und anderen mathematischen Symbolen komplexe Ereignisse modellieren und so zu neuen Erkenntnissen kommen kann, ist in den Grundschullehrplänen und im Bewusstsein der Grundschullehrkräfte kaum verankert. Anspruchsvolle Textaufgaben kommen in westdeutschen Mathematikbüchern so gut wie nie vor (STERN/STAUB 2000), und auch die numerischen Aufgaben tragen wenig zu einem tieferen mathematischen Verständnis bei (WITTMANN/MÜLLER 1993). Im Sachunterricht richtet man sich bei der Auswahl der Themen gern nach der Lebensumwelt und den Interessen der Kinder und behandelt deshalb bevorzugt Themen aus Geographie und Biologie (EINSIEDLER 2002). Dass der Schule von Anfang an auch die Aufgabe zukommt, an Themen und Fragen heranzuführen, die nicht spontan die Aufmerksamkeit der Kinder auf sich ziehen, blieb lange Zeit unbeachtet (MÖLLER 2002).

Weit verbreitet sind immer noch die längst überholten Annahmen aus PIAGETS Theorie, denen zufolge das Denken von Grundschulkindern auf das sog. „Konkrete“ beschränkt ist. Unter der inadäquaten Annahme, dass es Grundschulkindern noch an allgemeinen, d.h. inhalts- und bereichsübergreifenden kognitiven Voraussetzungen fehle, werden ihnen anspruchsvollere Lerngelegenheiten im Mathematik- und Sachunterricht vorenthalten. Zentrale Aspekte der Entwicklungstheorie PIAGETS – insbesondere die Vorstellung von einer sich in Stufen vollziehenden Entwicklung vom Konkreten zum Abstrakten – gelten allerdings seit über 30 Jahren als überholt. Vom Säuglingsalter bis zur Pubertät lässt sich für die von PIAGET entwickelten Aufgaben zeigen, dass sich bei Umformulierungen oder Einbettungen in andere Kontexte die Lösungsraten dramatisch erhöhen. Ob Aufgaben eines bestimmten Abstraktions- und Komplexitätsgrades gelöst werden können oder nicht, hängt entscheidend vom Vorwissen ab. Allgemeine Konstrukte zur Beschreibung der geistigen Leistungsfähigkeit, wie z.B. Abstraktionsfähigkeit, haben sich nicht bewährt. Das einzige kognitionspsychologische inhaltsübergreifende Konstrukt, das zur Erklärung von alterbedingten Defiziten herangezogen werden kann, ist die Arbeitsspeicherkapazität. Es gibt gute Gründe für die Annahme, dass sich im Laufe der Kindheit bestimmte Funktionen im Frontallhirn herausbilden, welche die Kapazität der aufzunehmenden Information beeinflussen. Eine geringere Arbeitsspeicherkapazität schränkt jedoch nicht zwangsläufig die Lernfähigkeit in bestimmten Inhaltsgebieten ein. Vielmehr zeigen Ergebnisse der Säuglingsforschung, dass Kinder beim Erwerb von Wissen in Inhaltsbereichen wie Mathematik, Physik und Biologie auf universelle Grundlagen zurückgreifen können (STEIN/BAUER/RABINOWITZ 2001). Die Orientierung in der physikalischen Umwelt, das Zählen von Objekten und Ereignissen sowie die Klassifikation von Lebewesen unserer Umgebung wird durch genetisch verankerte Programme gesteuert. Das im kulturellen Kontext entstandene mathematische, physikalische und biologische Wissen erfordert eine Erweiterung oder auch Umstrukturierung dieses angeborenen Wissens in professionellen, institutionalisierten Lerngelegenheiten (SODIAN 1995; STERN 2002; 2003b; 2003c).

Die Bedeutung des domänenspezifischen Wissens als zentrale Komponente der geistigen Veränderung zeigte sich auch in Längsschnittstudien wie LOGIK und SCHOLASTIK (WEINERT/HELMKE 1997; WEINERT 1998; WEINERT/SCHNEIDER 1999). Leistungsunterschiede in unterschiedlichen schulischen Kompetenzbereichen wie Mathematik und Schriftspracherwerb lassen sich besser durch bereichsspezifisches Wissen als durch allgemeine Intelligenz erklären. Für Mathematik zeigten sich erstaunlich langfristige Effekte: Die Mathematikleistung in der 2. Klasse klärt einen deutlich höheren Anteil der Leistungsunterschiede in der 11. Klasse auf als der in der 11. Klasse erfasste IQ (STERN

2003a). Die Ergebnisse von LOGIK und SCHOLASTIK bestätigen, was in der Expertiseforschung bereits seit längerer Zeit bekannt ist: Defizite bei der Intelligenz lassen sich durch Übung und den Erwerb bereichsspezifischen Wissens kompensieren.

Eine Beschränkung der Lernumgebung auf die konkrete Anschauung handlungsnaher Erfahrungen lässt sich auf Grund der Bedeutung des domänenspezifischen Wissens nicht rechtfertigen. Es kann erwartet werden, dass Grundschul Kinder zu anspruchsvollen Lernprozessen in der Lage sind, wenn schulische Interventionen Gelegenheit zum Erwerb des erforderlichen bereichsspezifischen Wissens geben.

Aufgaben der grundschulbezogenen Forschung

Vor dem Hintergrund der Bedeutung des bereichsspezifischen Wissens für die geistige Entwicklung im Kindesalter sollte sich die Grundschulforschung auf die Erforschung des Wissenserwerbs in den drei zentralen Leistungsbereichen Schriftspracherwerb, mathematische Kompetenzen und wissenschaftliches Denken konzentrieren. Im Folgenden werden drei sich ergänzende Forschungsrichtungen näher beschrieben.

1. Wissensumstrukturierung als entscheidende Determinante des Kompetenzerwerbs: Die Bedeutung von anschlussfähigem Wissen

Eine wichtige Aufgabe der Grundschulforschung ist die Erforschung der Umstrukturierung von Wissen mit dem Ziel, die Anschlussfähigkeit des erworbenen Wissens zu sichern. In Zusammenarbeit mit der Säuglings- und Kleinkindforschung sollte erarbeitet werden, wie die Wissensgrundlagen für die genannten Leistungsbereiche aussehen und wie sie in inoffiziellen und professionellen Lerngelegenheiten verändert werden. Unter Zuhilfenahme kognitionspsychologischer Klassifikationsmodelle sollten lern- und entwicklungsbedingte Veränderungen im Wissen beschrieben werden. Die Unterscheidung zwischen prozeduralem und deklarativem Wissen erlaubt es, hoch automatisiertes und deshalb schwer veränderbares Wissen abzugrenzen von Wissen, welches der verbalen Beschreibung zugänglich ist und bewusst umstrukturiert werden kann. Während die Kognitionswissenschaft schon seit längerer Zeit zufriedenstellende Modelle der Automatisierung entwickelt hat – man denke an das ACT* Modell von ANDERSON (1983), das erklärt, wie deklaratives in prozedurales Wissen umgewandelt werden kann – sind Modelle zur Entwicklung von konzeptuellem Wissen – also von Verstehen – noch immer eher vage. Die Explikationstheorie von KARMILOFF-SMITH (1992) sowie Theorien zum Conceptual Change (POSNER u.a. 1982; CAREY 1985) und zur Analogiebildung (GICK/HOLYOAK 1983; GENTNER 1989) ermöglichen es jedoch, den schwer fassbaren Vorgang des Verstehens besser in den Griff zu bekommen. Gemeinsam ist diesen Theorien, dass sie die Bedeutung der Vernetzung von unterschiedlichen Wissens-elementen betonen. Wenn Wahrnehmungseindrücke einmal mit Sprache verbunden sind, können sie auf einer höheren Bewusstseins-ebene auch mit anderen bereits verbal zugänglichen Wahrnehmungseindrücken verbunden werden (KARMILOFF-SMITH 1992). Conceptual Change bedeutet, dass mit einem bestimmten Begriff neue Eigenschaften und Merkmale verbunden werden und ein neues Gewicht bekommen. Bei wissenschaftlichen und analytischen Begriffen werden

im Laufe der Zeit definatorische Merkmale immer wichtiger, während charakteristische Merkmale in den Hintergrund treten. Das Verstehen anspruchsvoller und hoch komplexer Inhaltsbereiche, wie z.B. Physik, erfordert eine derartige konzeptuelle Umstrukturierung. Das Bilden von Analogien ist nach HOLYOAK/THAGARD (1995) die Voraussetzung für mentale Sprünge. „Mental Leaps“ ist der Titel ihres viel beachteten Buches.

Auch wenn die grob skizzierten Modelle noch recht vage sind, lässt sich in jedem Fall sagen, dass der Aufbau einer elaborierten Wissensbasis, welche die Grundlage für das Verstehen von Zusammenhängen bildet, ein aktiver, zeitaufwändiger Prozess ist. Konstruktivistische Theorien der menschlichen Kognition – wie z.B. die von PIAGET – tragen dieser Tatsache Rechnung. Lernumgebungen können Schüler anregen, ihr Vorwissen zu aktivieren und es eventuell zu modifizieren und zu erweitern. Selbst im günstigsten Falle nehmen Lernende aber nur einen Teil der von der Umgebung zur Verfügung gestellten Anregungen auf, und dies zudem nicht immer in dem von der Lehrkraft intendierten Sinne.

Welche Fragen stellen sich nun für die Grundschulforschung, wenn man davon ausgeht, dass der Kern geistiger Aktivitäten im Aufbau einer elaborierten Wissensbasis besteht und dass deren Erwerb ein aktiver und sehr zeitaufwändiger Vorgang ist? Auf allgemeiner Ebene lässt sich diese Frage recht einfach beantworten: Man muss sich zuerst einmal stärker als bisher Gedanken darüber machen, mit welchen Kompetenzen die Jugendlichen die Schule verlassen sollen. Im nächsten Schritt muss überlegt werden, wie das diesen Kompetenzen zu Grunde liegende Wissen langfristig aufgebaut werden kann. Aus der Forschung zur Lese-Rechtschreib-Schwäche wissen wir inzwischen, dass die Voraussetzung für einen unproblematischen Erwerb der Schriftsprache im ersten Grundschuljahr die phonologische Bewusstheit ist. Diese entsteht aus dem spielerischen Umgang mit Sprache in der Vorschulzeit, wenn dem Kind die Gelegenheit gegeben wurde, Reime zu bilden und zu erkennen sowie Silben zu klatschen. Solche Übungen sind Voraussetzungen für den Aufbau von konzeptuellem Wissen über sprachliche Segmente. Ohne ein derartiges Wissen gelingt es Kindern nur unzureichend, Sprache in Buchstabenkombinationen – also in geschriebenen Wörtern – abzubilden. Lernerfahrungen zum Aufbau der Sprache lassen sich nicht beliebig komprimieren. Wurde einem Kind in den Vorschuljahren keine Gelegenheit zu Silbenklatschen und zur Reimbildung gegeben, lassen sich diese Defizite nicht in wenigen Wochen nachholen, und die Schwierigkeiten beim Erwerb der Schriftsprache werden sich schnell aufaddieren. Wenn Lese-Rechtschreib-Forscher eine gezielte Vorschulerziehung fordern, dann verlangen sie nicht, dass bereits im Alter von 4 statt 6 Jahren mit dem Lesen und Schreiben begonnen wird, sondern dass in gezielten spielerischen Übungen die phonologische Bewusstheit verbessert wird, so dass die zwei Jahre später einsetzenden Lese- und Schreibübungen besser greifen können.

Paralleles gilt auch für den mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht; allerdings muss man hier in längeren Zeiträumen denken. Wenn gefordert wird, bereits „harte“ Wissenschaften wie die Physik in den Sachunterricht einzubringen, geht es nicht darum, den Lernstoff der 8. Klasse in die 4. Klasse vorzuverlegen, sondern dafür zu sorgen, dass die Kinder in der 8. Klasse besser als bisher auf den Unterricht vorbereitet sind. Dies kann geschehen, indem man bereits Grundschulkindern im Sachunterricht Gelegenheit gibt, Alternativen zu ihren intuitiven und oft nicht belastbaren physikalischen Erklärungen zu entdecken. So beobachten wir (MÖLLER u.a. 2002), dass Kinder das Schwimmen von Gegenständen im Wasser intuitiv damit erklären, dass „die Luft die Sachen nach oben zieht“. Gegenstände sinken nach Meinung der Kinder hingegen, weil „das Wasser

sie nach unten saugt“. Diese Erklärungen werden durch Erklärungen abgelöst, die mit dem physikalischen Konzept des Auftriebes kompatibel sind, auch wenn diese Erklärungen noch weit von den formalisierten Gesetzen der Physik entfernt sind: „Das Wasser will auf seinen alten Platz zurück, und das Wasser drückt es (das Schiff) nach oben.“ - „Das Schiff drängt ja Wasser weg und dieses Wasser trägt das Schiff, ... wenn das Wasser weniger wiegt als das Schiff, dann würde das Schiff untergehen.“ Unsere Untersuchungen zeigen, dass Grundschul Kinder in einem schülerorientierten, konzeptwechselfördernden Unterricht ein belastbares konzeptuelles Verständnis von „Dichte“ und „Auftrieb“ erwerben können (MÖLLER u.a. 2002; JONEN/HARDY/MÖLLER 2003). Es ist zu erwarten, dass Kinder, die bereits in der Grundschule ihre wenig tragfähigen intuitiven Erklärungen zu Gunsten adäquaterer Konzepte umstrukturiert haben, formalisierte Konzepte wie Dichte und Auftrieb später besser verstehen können. Ob dies tatsächlich der Fall ist, muss jedoch in Längsschnittstudien überprüft werden.

In einem ähnlichen Ansatz mit leicht modifizierten Schwerpunkten wird in der ENTERPRISE-Gruppe am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung der Versuch unternommen, Kinder bereits in der 3. und 4. Klasse an proportionale Konzepte heranzuführen. Den Kindern werden externe Repräsentationshilfen wie Graphen einer linearen Funktion oder Balkenwaagen gegeben, die einerseits zeigen, dass zwei Dimensionen berücksichtigt werden müssen, also einer Zentrierung vorbeugen, und andererseits die korrekte multiplikative Integration der beiden Variablen verdeutlichen. Ohne eine derartige Repräsentationshilfe neigen die Kinder zu der fehlerhaften additiven Integration, d.h. sie gehen davon aus, dass sich 4 zu 6 wie 8 zu 10 verhält. Lernt man, die Größen auf einer Balkenwaage oder einem Graphen abzutragen, kann man am Gleichgewicht bzw. der Steigung erkennen, ob beide Verhältnisse gleich sind oder nicht (KOERBER 2000; STERN/HARDY/KOERBER 2002). Längsschnittliche Untersuchungen zeigen, dass Kinder, die mit dem Graphen gelernt haben, Verhältnisse abzutragen, beim proportionalen Denken selbst nach zwei Jahren noch Vorteile gegenüber ihren nicht trainierten Mitschülern haben (KOERBER/HARDY/STERN unter Begutachtung). Es kann davon ausgegangen werden, dass Kinder, die bereits in der Grundschule gelernt haben, dass der Steigung des Graphen einer linearen Funktion eine besondere Bedeutung zukommt, bestimmte Fehlvorstellungen gar nicht erst entwickeln. Im Mathematikunterricht wird die Steigung des Graphen zur Zeit erst in der 8. Klasse thematisiert, wobei häufig Formeln im Mittelpunkt stehen. Nur wenigen Kindern gelingt jedoch nach diesem Unterricht auch eine sinnvolle Integration von Formeln, Situationen und graphischer Darstellung (MEVARECH/KRAMARSKY 1997). Wenn Kinder bereits in der Grundschule und ohne Formeln gelernt haben, dass die Steigung eines Graphen Konzepte wie Geschwindigkeit oder Dichte repräsentieren kann, sollte ihnen die später einsetzende Formalisierung leichter fallen, und die Ausweitung auf nicht-lineare Funktionen sowie auf die Infinitesimalrechnung sollte sich unproblematischer als bisher vollziehen.

Wie kann vor dem geschilderten Hintergrund der Beitrag der Wissenschaft zur Verbesserung des schulischen Lernens aussehen? Nachdem sich die für den schulischen Lernstoff verantwortlichen Stellen darauf geeinigt haben, mit welchen Kompetenzen – möglichst definiert in Aufgaben – Schülerinnen und Schüler die Schule verlassen sollten, analysieren Kognitionswissenschaftler und Fachdidaktiker, auf welcher Wissensgrundlage diese Kompetenzen erreicht werden können. Welche Merkmale des konzeptuellen Wissens müssen vorhanden sein und welche Handlungsrouninen müssen automatisiert werden, damit freie Arbeitsspeicherkapazität für ihre Adaptation an neue Anforderungen

verfügbar ist? Auf der Grundlage derartiger Überlegungen stellt sich die Frage, wie man den Erwerb dieses Wissens langfristig plant. In welchem Alter bestehen bereits Misskonzepte, denen Alternativen gegenüber gestellt werden sollten? Sollte man bereits Prozeduren einüben, bevor ein bestimmtes Konzeptverständnis erworben wurde? Ist das Beherrschen bestimmter Prozeduren vielleicht sogar Voraussetzung für konzeptuelles Verstehen? Solche Fragen lassen sich nicht prinzipiell klären, sondern hängen vom jeweiligen Inhaltsgebiet ab. Die Grundschulforschung sollte sich in den kommenden Jahren auf die Initiierung schulnaher Längsschnittstudien konzentrieren, in denen Psychologen, Grundschulpädagogen und Fachdidaktiker zusammen arbeiten. Im Mittelpunkt sollten dabei kurz-, mittel- und langfristige Auswirkungen von schulischen Interventionen stehen. Wir wissen noch immer sehr wenig darüber, *wie* eine elaborierte Wissensbasis entsteht. Robert SIEGLER (1996) und Annette KARMILOFF-SMITH (1992) haben bisher die konkretesten Vorstellungen entwickelt. Es zeigte sich in unterschiedlichen Inhaltsbereichen, dass konzeptuelles Wissen die Verfügbarkeit guter Handlungsroutrinen voraussetzt. So entdeckten Kinder erst nach vielen Übungsdurchgängen, dass man bei Rechenaufgaben wie $a + b - b = a$ nicht rechnen muss (SIEGLER/STERN 1998). Stärker noch als in der Sekundarstufe müssen in der Grundschulzeit Routinen eingeübt werden. Dies ist meist auch ohne größere Probleme möglich, da Grundschulkinder den Zweck bestimmter Übungen noch nicht kritisch hinterfragen. Sie schreiben zeilenweise Buchstaben, Wörter und Sätze und rechnen Blöcke von Aufgaben aus. Die berechtigte Forderung nach anspruchsvollem, verständnisorientiertem Mathematik- und Sachunterricht darf nicht zu Lasten der Übung gehen. Andererseits können stupide Übungen demotivieren und damit kontraproduktiv sein. Es werden dringend Studien benötigt, mit deren Hilfe man der Frage näher kommt, unter welchen Bedingungen eine vorgeschaltete Übungsphase ein späteres konzeptuelles Verständnis erleichtert. Sinnvoll wären in diesem Zusammenhang mikrogenetische Studien, d.h. Messungen in kürzeren Abständen, um den Prozess der Veränderung näher zu verfolgen.

2. Unterrichtsbezogene Forschung: Besonderheiten der Grundschule

In vielen anderen Ländern haben Schulen und Lehrkräfte mehr Freiräume bei der Entwicklung von Curricula und Unterrichtskonzepten, müssen sich aber im Gegenzug dafür Leistungsvergleichen stellen. In Deutschland war es bisher umgekehrt: Einerseits lassen detaillierte Vorschriften und Lehrpläne den Lehrpersonen vergleichsweise wenig Spielraum für die Umsetzung eigener Ideen, aber andererseits gibt es keine Tradition allgemein verbindlicher Erfolgskontrollen. Nach PISA herrscht Einigkeit darüber, dass beides in Deutschland nachgeholt werden muss. Für die Grundschulforschung ergeben sich hinsichtlich beider Aspekte besondere Anforderungen und Chancen. Erfolgskontrollen erfordern den Einsatz von Leistungstests. Zunehmend wird erkannt, dass sich ein erfolgreicher, das konzeptuelle Verständnis fördernder Unterricht an der Fähigkeit messen lässt, Aufgaben zu lösen, die *nicht* im Unterricht geübt wurden. Neue Aufgabenformate stellen eine besondere Herausforderung für Grundschulkinder dar. Die Kinder haben häufig erst mühsam gelernt, sich an bestimmte Abläufe zu gewöhnen. Deshalb bedarf es besonderer Phantasie bei der Testkonstruktion, um die Schüler nicht von vornherein abzuschrecken. Die Optimierung von Gruppentests zum mathematischen und naturwissenschaftlichen Verständnis bereits in der Grundschulzeit wird eine besondere Herausforderung darstellen (MÖLLER u.a. 2002).

Die inzwischen erwünschte größere Eigenständigkeit der Lehrpersonen bei der Planung und Durchführung von Unterrichtseinheiten stellt auch neue Anforderungen an die Lehreraus- und -fortbildung, die ihrerseits zum Forschungsgegenstand werden sollte. Dabei gilt es, Besonderheiten der Grundschule zu nutzen. In der Sekundarstufe, ganz besonders im Gymnasium, treten Kommunikationsstörungen zwischen Lehrkräften und Schülern auf, weil die Fachlehrkräfte den Schülern an Wissen so weit voraus sind, dass sie deren Alltagsvorstellungen und Wissensdefizite nicht mehr nachvollziehen können. In der Grundschule dagegen ergeben sich im mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht nicht selten ganz andere Probleme: GrundschullehrerInnen haben oft keine guten Erinnerungen an ihren eigenen mathematischen und naturwissenschaftlichen Schulunterricht, und auch die Universitätsausbildung war nicht dazu angetan, Interesse und profundes Fachwissen aufzubauen. Deshalb muss Lehreraus- und -fortbildung im mathematischen und naturwissenschaftlichen Bereich sehr häufig auch die Vermittlung von Fachwissen umfassen. Darin liegt die Besonderheit, aber auch die Chance für die Lehrerbildung im Grundschulbereich. Da die Lehrkräfte ihr Fachwissen noch selbst ausbauen müssen, können sie sich möglicherweise besser in die inhaltlichen Lernschwierigkeiten ihrer Schüler hineinversetzen. In dem in der Arbeitsgruppe von Kornelia MÖLLER erarbeiteten Training wird das Vorwissen der Lehrkräfte gezielt beim Aufbau von fachspezifisch-pädagogischem Inhaltswissen berücksichtigt (vgl. MÖLLER in Vorb.; STAUB/STERN 2002).

3. Der Einfluss der Schule auf die allgemeinen geistigen Kompetenzen: Was wird gelernt, aber nicht gelehrt?

Dass der Schule neben der Vermittlung von Fachwissen auch die Aufgabe zur Vermittlung fächerübergreifender Kompetenzen und sogenannter Schlüsselqualifikationen zukommt, wird in letzter Zeit wieder vermehrt diskutiert. Nicht selten gehen die Forderungen – und auch die Umsetzungen im Schulunterricht – an den wissenschaftlichen Erkenntnissen vorbei. In der Lehr-Lern-Forschung hat sich in den letzten Jahren die Vorstellung der situierten Kognition durchgesetzt. Danach sind die Chancen für die Reaktivierung von einmal erworbenem Wissen umso größer, je ähnlicher die Lern- und die Transfersituation sind. Die weit verbreitete Annahme, in der Schule gehe es nur darum, das Lernen zu lernen, während die Inhalte gänzlich unwichtig seien, lässt sich aus wissenschaftlicher Sicht nicht halten. Auch bei intelligenten Menschen kann man zunächst nicht davon ausgehen, dass sie einmal erworbene Denk- und Lernstrategien spontan in neuen Situationen anwenden.

Natürlich spielen inhaltsübergreifende, allgemeine geistige Kompetenzen beim Zustandekommen anspruchsvoller geistiger Leistungen eine entscheidende Rolle. Metakognition gilt zu Recht als eine zentrale Komponente der Intelligenz. Allerdings wurde für metakognitive Kompetenzen hinreichend häufig gezeigt, dass sie nicht direkt trainiert werden können: Sie sind zwar lernbar, aber nicht lehrbar. Ein von Inhalten unabhängiges Training in Arbeitstechniken ist nicht effizient. Vielmehr sind metakognitive Kompetenzen ein Destillat aus Lernerfahrungen mit Inhalten. Über die Auswahl von Inhalten – z.B. im Mathematikunterricht – können übergreifende Kompetenzen aber durchaus gesteuert werden, wie z.B. die Arbeiten von SCHOENFELD (1992) zeigen. Auch andere sogenannte Schlüsselqualifikationen, wie z.B. Sozialkompetenz und die Fähigkeit zur Teamarbeit, sind nur in Verbindung mit dem Erwerb anspruchsvoller Lerninhalte zu erreichen. Ge-

dächtnisstrategien werden nicht explizit gelehrt, aber sie entwickeln sich in den ersten Jahren der Grundschulzeit (SCHNEIDER/HASSELHORN 2002). Mit der Einschulung werden die Grundlagen für die Entwicklung zahlreicher allgemeiner geistiger Kompetenzen gelegt. Welche schulischen Lernbedingungen in welcher Weise beteiligt sind und eine mehr oder weniger günstige Entwicklung steuern, sollte in den nächsten Jahren Gegenstand der Grundschulforschung sein.

Fazit: Den Erwerb anschlussfähigen Wissens erforschen

Entwicklungspsychologische Studien belegen, dass die kognitiven Fähigkeiten von Grundschulkindern in Deutschland häufig unterschätzt werden. Auf der Basis bereichsspezifischen Wissens sind anspruchsvolle Denkprozesse auch bereits im Grundschulalter möglich. Welche Inhalte in welcher Aufeinanderfolge in den verschiedenen Leistungsbe-
reichen der Grundschule erworben werden sollten, muss verstärkt Gegenstand grund-
schulbezogener Forschung werden. Dabei ist darauf zu achten, dass das erworbene Wis-
sen anschlussfähig ist für weiterführendes Lernen. Die hierfür erforderliche, curriculare
Abstimmung zwischen der Grundschule und den weiterführenden Schulen muss for-
schungsbasiert erfolgen, wobei Kognitionswissenschaftler, Fachdidaktiker und Grund-
schulpädagogen wie auch -didaktiker zusammen arbeiten sollten.

Anmerkung

- 1 Tatsächlich wäre ein Vergleich der Leseleistung zwischen ostasiatischen Grundschulern, die die Symbolschrift lernen müssen, und Schülern, die in der auch in unseren Breitengraden üblichen Lautschrift lesen lernen, nicht sinnvoll. Der Nachteil einer Symbolschrift ist, dass ihr Erwerb langwierig und mühsam ist, ihr Vorteil besteht darin, dass sie – einmal perfektioniert – sehr schnelles Lesen erlaubt. In der vierten Klasse kommt dieser Vorteil noch nicht zum Tragen.

Literatur

- ANDERSON, J. R. (1983): The architecture of cognition. – Cambridge, MA.
- BOS u.a. 2003a = BOS, W./LANKES, E.-M./PRENZEL, M./SCHWIPPERT, K./WALTHER, G./VALTIN, R. (Hrsg.) (2003): Erste Ergebnisse aus IGLU. Schülerleistungen am Ende der vierten Jahrgangsstufe im internationalen Vergleich. – Münster.
- BOS, W. u.a. 2003b = BOS, W./LANKES, E.-M./SCHWIPPERT, K./VALTIN, R./VOSS, A./BADEL, I./PLABMEIER, N. (2003): Lesekompetenzen deutscher Grundschülerinnen und Grundschüler am Ende der vierten Jahrgangsstufe im internationalen Vergleich. In: BOS, W./LANKES, E.-M./PRENZEL, M./SCHWIPPERT, K./WALTHER, G./VALTIN, R. (Hrsg.) (2003): Erste Ergebnisse aus IGLU. Schülerleistungen am Ende der vierten Jahrgangsstufe im internationalen Vergleich. – Münster, S. 69-142.
- CAREY, S. (1985): Conceptual change in childhood. – Cambridge, MA.
- EINSIEDLER, W. (2002): Empirische Forschung im Sachunterricht – ein Überblick. In: SPRECKELSEN, K./MÖLLER, K./HARTINGER, A. (Hrsg.) (2002): Ansätze und Methoden empirischer Forschung zum Sachunterricht. – Forschungen zur Didaktik des Sachunterrichts, Bd. 5 – Bad Heilbrunn, S. 17-40.
- GENTNER, D. (1989): The mechanisms of analogical learning. In: VOSNIADOU, S./ORTONY, A. (Hrsg.) (1989): Similarity and analogical reasoning. – Cambridge, UK, S. 199-241.
- GICK, M. L./HOLYOAK, K. J. (1983): Schema induction and analogical transfer. In: Cognitive Psychology, H. 15, S. 1-38.

- HARRIS, M./HATANO, G. (Hrsg.) (1999): *Learning to read and write. A cross-linguistic perspective.* – Cambridge, UK.
- HELMKE u.a. in Druck = HELMKE, A./SCHRADER, F.-W./VO, T./LE, P./TRAN, T. (in Druck): *Selbstkonzept und schulische Leistungen im Kulturvergleich: Ergebnisse der Grundschulstudie SCHOLASTIK in München und Hanoi.* In: KNOFF, M./SCHNEIDER, W. (Hrsg.) (in Druck): *Entwicklung, Lehren, Lernen. Zum Gedenken an Franz E. Weinert.* – Göttingen.
- HOLYOAK, K. J./THAGARD, P. (1995): *Mental leaps: Analogy in creative thought.* – Cambridge, MA.
- JONEN, A./HARDY, I./MÖLLER, K. (2003): *Schwimmt ein Holzbrett mit Löchern? – Erklärungen von Kindern zum Schwimmen und Sinken verschiedener Gegenstände vor und nach dem Unterricht.* In: SPECK-HAMDAN, A./BRÜGELMANN, H./FÖLLING-ALBERS, M./RICHTER, S. (Hrsg.) (2003): *Kulturelle Vielfalt. Religiöses Lernen. Jahrbuch Grundschule IV: Fragen der Praxis – Befunde der Forschung.* – Seelze, S. 159-164.
- KARMILOFF-SMITH, A. (1992): *Beyond modularity. A developmental perspective on cognitive science.* – Cambridge, MA.
- KOERBER, S. (2000): *Der Einfluss externer Repräsentationsformen auf proportionales Denken im Grundschulalter.* Unveröffentlichte Dissertation. – Berlin: Technische Universität (FB 11).
- KOERBER, S./HARDY, I./STERN, E. (unter Begutachtung): *The early tool user picks the concept: Proportional reasoning with the help of Cartesian graphs.*
- MEVARECH, Z./KRAMARSKY, B. (1997): *From verbal description to graphic representations: Stability and change in students' alternative conceptions.* In: *Educational Studies in Mathematics*, H. 32, S. 229-263.
- MÖLLER, K. (2002): *Anspruchsvolles Lernen in der Grundschule – am Beispiel naturwissenschaftlich-technischer Inhalte.* In: *Pädagogische Rundschau*, 56. Jg., H. 4, S. 411-435.
- MÖLLER, K. (in Vorb.): *Naturwissenschafts- und technikbezogenes Lernen im Sachunterricht – Konzepte zur Implementierung über Lehrerfortbildungen.* In: HARTINGER, A./FÖLLING-ALBERS, M. (Hrsg.) (in Vorb.): *Lehrerkompetenzen für den Sachunterricht. – Probleme und Perspektiven des Sachunterrichts*, Bd. 14.
- MÖLLER, K. u.a. 2002 = MÖLLER, K./JONEN, A./HARDY, I./STERN, E. (2002): *Die Förderung von naturwissenschaftlichem Verständnis bei Grundschulkindern durch Strukturierung der Lernumgebung.* In: PRENZEL, M./DOLL, J. (Hrsg.) (2002): *Bildungsqualität von Schule: Schulische und außerschulische Bedingungen mathematischer, naturwissenschaftlicher und überfachlicher Kompetenzen.* – Zeitschrift für Pädagogik, 45. Beiheft – Weinheim, S. 176-191.
- POSNER, G. J. u.a. 1982 = POSNER, G. J./STRIKE, K. A./HEWSON, P. E./GERTZOG, W. A. (Hrsg.) (1982): *Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change.* In: *Science Education*, 66. Jg., H. 29, S. 211-227.
- PRENZEL, M. u. a. 2003 = PRENZEL, M./GEISER, H./LANGEHEINE, R./LOBEMEIER, K. (2003): *Das naturwissenschaftliche Verständnis am Ende der Grundschule.* In: BOS, W. u.a. (Hrsg.) (2003): *Erste Ergebnisse aus IGLU. Schülerleistungen am Ende der vierten Jahrgangsstufe im internationalen Vergleich.* – Münster, S. 143-187.
- SCHNEIDER, W./HASSELHORN, M. (2002): *Zwischenbericht zum DFG-Projekt „Bedingungen und intraindividuelle Entwicklungsverläufe strategischer Gedächtnisprozesse zwischen 5 und 12 Jahren“.* Unveröffentlichtes Manuskript. – Würzburg/Göttingen.
- SCHOENFELD, A. (1992): *Learning to think mathematically: Problem solving, metacognition, and sense making in mathematics.* In: GROUWS, D. (Hrsg.) (1992): *Handbook for Research on Mathematics Teaching and Learning.* – New York, S. 334-370.
- SIEGLER, R. S. (1996): *Emerging minds: The process of change in children's thinking.* – New York.
- SIEGLER, R. S./STERN, E. (1998): *Conscious and unconscious strategy discoveries: A microgenetic analysis.* In: *Journal of Experimental Psychology: General*, H. 127, S. 377-397.
- SODIAN, B. (1995): *Entwicklung bereichsspezifischen Wissens.* In: OERTER, R./MONTADA, L. (Hrsg.) (1995): *Entwicklungspsychologie.* – Weinheim, S. 622-653.
- STAUB, F./STERN, E. (2002): *The nature of teachers' pedagogical content beliefs matters for students' achievement gains: quasi-experimental evidence from elementary mathematics.* In: *Journal of Educational Psychology*, H. 93, S. 144-155.
- STEIN, L./BAUER, P. J./RABINOWITZ, M. (Hrsg.) (2001): *Representation, Memory, and Development: Essays in honor of Jean Mandler.* – Hillsdale, NJ.
- STERN, E. (2002): *Wie abstrakt lernt das Grundschulkind? Neuere Ergebnisse der entwicklungspsychologischen Forschung.* In: PETILLON, H. (Hrsg.) (2002): *Jahrbuch Grundschulforschung 5. Individuell*

- les und soziales Lernen in der Grundschule – Kindperspektive und pädagogische Konzepte. – Opladen, S. 27-42.
- STERN, E. (2003a): Früh übt sich – Neuere Ergebnisse aus der LOGIK-Studie zum Lösen mathematischer Textaufgaben. In: FRITZ, A./RICKEN, G./SCHMIDT, S. (Hrsg.) (2003): Rechenschwäche. Lernwege, Schwierigkeiten und Hilfen bei Dyskalkulie – Ein Handbuch. – Weinheim, S. 116-130.
- STERN, E. (2003b): Kompetenzerwerb in anspruchsvollen Inhaltsgebieten bei Grundschulkindern. In: CZECH, D./SCHWIER, J. J. (Hrsg.) (2003b): Lernwege und Aneignungsformen im Sachunterricht. – Bad Heilbrunn, S. 37-58.
- STERN, E. (2003c). Lernen – der wichtigste Hebel der geistigen Entwicklung. Universitas, 58. Jg., Teil 1: 683, S. 454-465; Teil 2: 684, S. 567-582.
- STERN, E./HARDY, I./KOERBER, S. (2002): Die Nutzung graphisch-visueller Repräsentationsformen im Sachunterricht. In: SPRECKELSEN, K./HARTINGER, A./MÖLLER, K. (Hrsg.) (2002): Ansätze und Methoden empirischer Forschung zum Sachunterricht. – Bad Heilbrunn, S. 119-131.
- STERN, E./SOKOLOVA, H./NICOLAUS, D. (in Vorbereitung). Mathematische Kompetenzen bei Grundschulkindern: Ein Vergleich zwischen Bratislava und München.
- STERN, E./STAUB, F. (2000): Mathematik lernen und verstehen: Anforderungen an die Gestaltung des Mathematikunterrichts. In: INCKERMANN, E./KAHLERT, J./SPECK-HAMDAN, A. (Hrsg.) (2000): Sich Lernen leisten. Grundschule vor den Herausforderungen der Wissenschaft. – Neuwied, S. 90-100.
- WALTHER, G. u.a. (2003) = WALTHER, G./GEISER, H./LANGEHEINE, R./LOBEMEIER, K. (2003): Mathematische Kompetenzen am Ende der vierten Jahrgangsstufe. In: BOS, W./LANKES, E.-M./PRENZEL, M./SCHWIPPERT, K./WALTHER, G./VALTIN, R. (Hrsg.) (2003): Erste Ergebnisse aus IGLU. Schülerleistungen am Ende der vierten Jahrgangsstufe im internationalen Vergleich. – Münster, S. 189-226.
- WEINERT, F. E. (Hrsg.) (1998): Entwicklung im Kindesalter – Bericht über eine Längsschnittstudie. – Weinheim.
- WEINERT, F. E./HELMKE, A. (Hrsg.) (1997): Entwicklung im Grundschulalter. – Weinheim.
- WEINERT, F. E./SCHNEIDER, W. (1999): Individual development from 3–12: Findings from the Munich Longitudinal Study. – Cambridge, MA.
- WITTMANN, E. C./MÜLLER, G. N. (1993): Handbuch produktiver Rechenübungen. – Bd. 1 – Stuttgart.

Anschrift der Verfasserinnen: Prof. Dr. Elsbeth Stern, Max-Planck-Institut für Bildungsforschung, Lentzeallee 94, 14195 Berlin, Email: stern@mpib-berlin.mpg.de; Prof. Dr. Kornelia Möller, Seminar für Didaktik des Sachunterrichts, Universität Münster, Leonardo Campus 11, 48149 Münster, Email: sachunterricht@uni-muenster.de