

Wie viel Hirn braucht die Schule?

Chancen und Grenzen einer neuropsychologischen
Lehr-Lern-Forschung

Elsbeth Stern

Sonderdruck

Zeitschrift für Pädagogik **50(4)**/2004, S. 531–538

Elsbeth Stern

Wie viel Hirn braucht die Schule?

Chancen und Grenzen einer neuropsychologischen Lehr-Lern-Forschung

Zusammenfassung: Auch wenn die Hirnforschung faszinierende Befunde über die menschliche Informationsverarbeitung liefert, lassen sich für die Gestaltung von vorschulischen und schulischen Lerngelegenheiten nur sehr allgemeine Folgerungen ableiten. Bildungseinrichtungen wurden etabliert, damit Schüler in wenigen Jahren Wissen erwerben und anwenden können, dessen Entwicklung die Menschheit Jahrhunderte oder Jahrtausende gekostet hat. Damit dies gelingt, müssen Lehrer fachspezifisches pädagogisches Inhaltswissen erwerben und zur Aufbereitung von Lerngelegenheiten heranziehen. Erkenntnisse aus der Wissenschaftsgeschichte sowie der kognitiven Psychologie können Lehrern beim Aufbau des fachspezifischen pädagogischen Inhaltswissens weiterhelfen.

1. Lernvorgänge im Gehirn – eine faszinierende Perspektive

Als Kognitionspsychologin verfolge ich die Fortschritte in der Gehirnforschung mit großem Interesse. Zwar wissen wir seit langem, dass die Funktion des Gehirns nicht nur darin besteht, die Körpertemperatur zu regeln, wie man noch im Mittelalter glaubte, sondern dass in diesem Organ unter anderem Wünsche, Ziele, Hoffnungen und Ideen geboren werden. Mit Hilfe bildgebender Verfahren zu sehen, dass das Gehirn auf bestimmte Informationen wirklich reagiert, bleibt faszinierend. Manche Erkenntnisse der Gehirnforschung sind zudem beruhigend, weil sie optimistisch stimmen, was die geistige Flexibilität und Plastizität des Gehirns über die Lebensspanne hinweg angeht. Dazu gehört beispielsweise, dass die Lokalisierung bestimmter geistiger Funktionen im Gehirn flexibel ist. Durch Krankheit oder Unfälle ausgelöste Läsionen gehen nicht zwangsweise mit dauerhaften irreparablen Schäden in der geistigen Funktionsfähigkeit einher. Auch die Dichotomie der Hirnhälften (linke Seite sprachlich, rechte Seite räumlich-visuell) ist weniger determiniert, als dies lange Zeit angenommen wurde.

Aufgrund der großen Plastizität des menschlichen Gehirns ergeben sich bisher keine wesentlichen Einschränkungen für die Entwicklung von Lerntheorien in komplexen Inhaltsbereichen. Konkret heißt dies, dass z.B. psychologische Theorien zum Textverständnis (Kintsch 1998) oder zur Integration von sprachlicher und bildlicher Information noch nicht aufgrund von Ergebnissen der Gehirnforschung modifiziert werden müssen.

Zu den interessanten Ergebnissen der neueren Gehirnforschung gehört auch, dass wir uns bei der Erforschung höherer geistiger Prozesse, die dem Menschen vorbehalten sind, nicht auf die Betrachtung der Großhirnrinde beschränken dürfen. Dazu gehört beispielsweise, dass sich die Funktion des Kleinhirns nicht – wie ich noch aus dem Grundstudium mitgenommen habe – auf die Regelung des Gleichgewichts beschränkt, sondern dass es auch an anspruchsvollen Lern- und Denkvorgängen beteiligt ist. In der psychologischen Lernforschung häufen sich Befunde, die zeigen, dass es enge Zusam-

menhänge zwischen Körperhandlungen und Denken gibt, wie z.B. beim Gestikulieren. Es kann erwartet werden, dass die Zusammenführung von Befunden aus der Psychologie und der Gehirnforschung mittelfristig zur Entwicklung integrativer Theorien des Denkens und Verhaltens führt.

Auch bezüglich der kindlichen Entwicklung in den ersten Monaten und Jahren hat die Gehirnforschung – allen voran die Arbeiten von Peter Huttenlocher – interessante Erkenntnisse gebracht. Insbesondere beeindruckt die Eigendynamik der Gehirnentwicklung bei Kindern. Sofern deren körperlichen und emotionalen Grundbedürfnisse befriedigt werden und die Sinnesfunktionen intakt sind, vollziehen sich Veränderungen im Gehirn, die nicht auf Umwelteinflüsse zurückzuführen sind. So nehmen im ersten Lebensjahr die Verschaltungen zwischen Synapsen in einem später nicht mehr erreichten Ausmaß zu. Vom dritten Lebensjahr an setzt dann ein rapider Abbau ein, der sich in abgeschwächter Form bis zur Pubertät fortsetzt. Zu den weitreichenden Irrtümern des letzten Jahrzehnts gehörte es, die Zunahme der Synapsendichte mit einer erhöhten Lernfähigkeit gleichzusetzen und in dem bald darauf einsetzenden Abbau von Synapsenverbindungen erste Zeichen geistiger Trägheit zu sehen. Die beschriebene Veränderung der Synapsendichte vollzieht sich teilweise vollständig ohne Reiz-Input, und in den Fällen, in denen Reiz-Input benötigt wird, ist dieser von so universeller Natur, dass er in einer Jurte in der Mongolei, einer Hütte in Afrika, einem Plattenbau in Berlin oder einer Villa in Beverly Hills zur Verfügung steht.

Aus dem sprachlichen Input, den die Kinder im ersten Lebensjahr hören, entwickeln sie im ersten Lebensjahr die Fähigkeit zum Erkennen von Lauten der Muttersprache. Kinder sollten im ersten Lebensjahr Sprache hören. Dies kann geschehen, indem man – wie in westlichen Kulturen üblich – sehr viel mit dem Säugling spricht, wohl wissend, dass er nichts davon versteht. Aber auch die Gelegenheit zur Teilnahme an sprachlicher Interaktion zwischen Dritten scheint für die sprachliche Entwicklung auszureichen.

Die frühkindliche Entwicklung stellt offensichtlich keine besonderen Anforderungen an die Umgebung, aber sie reagiert empfindlich auf künstliche Eingriffe und Störungen. Wurden beispielsweise Eier von noch nicht fertig ausgebrüteten Vögeln geöffnet, führte die vorzeitige Lichteinwirkung zu einer verbesserten Sehfähigkeit der Tiere. Gleichzeitig waren sie aber dauerhaft in ihrer Hörfähigkeit beeinträchtigt (Lickliter 1990). Erklärt werden kann dies damit, dass die für die Verarbeitung akustischer Information vorgesehenen Neuronen vom visuellen System besetzt werden. Diese Ergebnisse zeigen eindrucksvoll, wie eigendynamisch sich die Gehirnentwicklung im Normalfall vollzieht.

Sofern körperliche und emotionale Grundbedürfnisse des Säuglings befriedigt sind, lassen sich kortikale Fehlentwicklungen in den ersten Lebensjahren nicht mit Umweltfaktoren erklären, sondern sind häufig das Resultat von Sinnesdysfunktionen. Schielen im Säuglingsalter ist nicht allein ein Schönheitsfehler, und eine Mittelohrentzündung im ersten Lebensjahr ist mehr als nur schmerzhaft: Sind beide Augen nicht richtig koordiniert, kann es bei der Belegung von Neuronen im visuellen Cortex zu Asymmetrien kommen, die die Sehfähigkeit langfristig beeinträchtigen. Ist die Hörfähigkeit beeinträchtigt, kann die Fähigkeit zur Differenzierung von Lauten so nachhaltig gestört werden, dass auch noch Jahre später der Schriftspracherwerb darunter leidet.

Derartige Ergebnisse der neurobiologischen Forschung sind von großer Bedeutung für den Umgang mit Säuglingen und Kleinkindern. Eine optimale Entwicklung ermöglicht man Kindern im ersten Lebensjahr nicht durch die Bereitstellung von komplexen und anspruchsvollen Lernumgebungen – die im besten Falle keinen Schaden anrichten –, sondern indem man ihre Sinnesfunktionen in Vorsorgeuntersuchungen prüfen lässt. Eine Beeinträchtigung der Hör- und Sehfähigkeit muss frühzeitig erkannt und behandelt werden. Ist eine Heilung nicht möglich, d.h. ist ein Kind dauerhaft blind und/oder taub, müssen rechtzeitig Kompensationsmaßnahmen eingeleitet werden wie z.B. der Aufbau einer Zeichensprache. Inzwischen wissen wir, dass sich taube Kinder tauber Eltern, die von Anfang an in Zeichensprache kommunizieren, besser entwickeln als taube Kinder nicht-tauber Eltern. Sofern es keine Anzeichen für eine beeinträchtigte Hör- und Sehfähigkeit der Kinder gibt, muss man sich wenig Gedanken über die Lerngelegenheiten von Säuglingen und Kleinkindern machen. Wenn es sich anbietet – weil Personen mit unterschiedlichen Muttersprachen in der Familie leben –, sollte man dem Kind die Chance zur Mehrsprachigkeit geben, indem die verschiedenen Mitglieder der Familie konsequent ihre jeweilige Muttersprache mit dem Kind sprechen. Zu den wenigen Bereichen, in denen sich das sich schließende Zeitfenster eine angemessene Metapher für die geistige Entwicklung herausgestellt hat (vgl. den Beitrag von Pauen in diesem Heft), gehört der Zweitspracherwerb. Mit Hilfe von bildgebenden Verfahren konnten zwischen Erwachsenen, die eine Zweitsprache in den ersten drei Lebensjahren erworben haben, und solchen, die erst einige Jahre später damit begannen, Unterschiede in der Sprachverarbeitung festgestellt werden, auch wenn sich auf der Leistungsebene keine Unterschiede zeigten.

Die erwähnten Ergebnisse zum Zweitspracherwerb unterstreichen aber auch die Bedeutung der Bereichsspezifität des Lernens. Es gibt Kompetenzen und Inhaltsbereiche, deren Grundlagen bereits angelegt sind – man spricht auch von *start-up*-Mechanismen –, sodass das Lernen in diesen Bereichen privilegiert ist. Sprechen und Laufen gehören dazu, Prozesse der visuellen Mustererkennung, aber auch einfache Formen der Quantifizierung sowie Grundformen der sozialen Interaktion, z.B. Empathie und Aggression.

Die vielleicht interessantesten Ergebnisse können bei Castelli u.a. (2002) nachgelesen werden. Ein Blick in das Gehirn von älteren Autisten, die Aufgaben zur Perspektivübernahme inzwischen lösen konnten, zeigte eine deutlich verlangsamte Verarbeitung von Information über soziale Interaktion, verglichen mit Menschen mit geistiger Behinderung. Nicht-autistische Menschen sind mit *start-up*-Mechanismen ausgestattet, die eine schnelle Verarbeitung von Information über soziale Interaktion ermöglichen. Bei Autisten hingegen fehlen diese *start-up*-Mechanismen, und sie müssen deshalb Wissen über zwischenmenschliche Interaktion mühsam über andere Lernwege aufbauen.

Dass sich inzwischen auch auf kortikaler Ebene die Unterscheidung zwischen privilegiertem und nicht-privilegiertem Lernen vornehmen lässt, ist für die Betrachtung des schulischen Lernens von besonderer Bedeutung. Die Institution Schule wurde ja gegründet, um nicht-privilegiertes Lernen zu unterstützen oder überhaupt erst zu ermöglichen.

2. Auf den Inhalt kommt es an: Analyse von Wissensdomänen als zentrale Aufgabe der Lehr-Lern-Forschung

Die Gene der Spezies Mensch haben sich in den letzten 40.000 Jahren nicht wesentlich verändert, das zur Verfügung stehende Wissen hingegen beträchtlich. Allerdings vergingen etwa 35.000 Jahre bis zur Nutzung von Schriftzeichen. Zahlensymbole, aus deren Eigenleben sich viel später die Mathematik entwickelte – man denke an die Bedeutung der Null – und auf deren Grundlagen wiederum Naturwissenschaften und Technik entstanden, kamen erst später hinzu. Analytische Geometrie oder Newtons Gesetze der Mechanik – beides zentrale Bestandteile des Curriculums in der Sekundarstufe – gehören erst seit wenigen Jahrhunderten zum Kulturgut der Menschheit. Von normal begabten Schulkindern werden in wenigen Jahren geistige Sprünge erwartet, die sich in der Menschheitsgeschichte über Jahrtausende vollzogen und an deren Entwicklung geniale Geister beteiligt waren. Ermöglicht wird dies durch die Bereitstellung von professionellen Lern- und Übungsgelegenheiten, in denen Wissen angemessen portioniert über die Jahre aufgebaut werden kann (Stern/Schumacher 2004).

Nicht-privilegiertes Lernen ist zeitaufwendig, daher ist Frühförderung angesagt, und nicht etwa deshalb, weil das kindliche Gehirn ganz unspezifisch besser lernt. Dabei geht es allerdings nicht darum, Lernstoff einfach vorzuverlegen. Den Schriftspracherwerb erleichtert man nicht, indem man bereits mit dreijährigen Kindern Buchstaben paukt. Geübt werden kann aber der Umgang mit Stiften, und mit gezielten Sing- und Sprechspielen lässt sich die akustische Struktur unserer Sprache bewusst machen, was nachweislich das Lesenlernen erleichtert. Eine sinnvolle Vorbereitung auf das Fach Mathematik besteht nicht in der Vorgabe von Rechenaufgaben, sondern in der spielerischen Sensibilisierung der Kinder für mathematische Muster in ihrer Umgebung. So kann rechtzeitig der unseligen Tendenz entgegen gewirkt werden, Mathematik vorwiegend als das korrekte Ausführen von Rechenprozeduren zu verstehen. Auf naturwissenschaftliches Verständnis können Kinder vorbereitet werden, indem ihnen bestimmte Erfahrungen ermöglicht werden, z.B. dass der Wasserspiegel in einem Gefäß steigt, wenn ein Gegenstand eingetaucht wird. Darauf kann im Sachunterricht der Grundschule zurückgegriffen werden, wenn für das Schwimmen und Sinken von Gegenständen Erklärungen erarbeitet werden, die dann einige Jahre später das Verständnis von physikalischen Begriffen wie Dichte und Auftrieb erleichtern.

Eine sinnvolle Frühförderung muss also darauf abzielen, die Grundlagen für den Wissenserwerb in Bereichen zu legen, in denen kein privilegiertes Lernen erwartet werden kann.

3. Gute Lehrer wissen, wie Schüler lernen

Dass gute Lehrer wissen sollten, wie Lernen funktioniert, ist von Vertretern der Gehirnforschung häufig zu hören. In der Lehr-Lern-Forschung wird dieses Anliegen ebenfalls vertreten. Der Begriff des *pedagogical content knowledge* (fachspezifisches pädagogisches

Inhaltswissen) ist seit vielen Jahren in der Lehr-Lern-Forschung etabliert. Darunter versteht man die Zusammenführung von Wissen über den Inhalt und Wissen über Pädagogik (Staub/Stern 2002). Gute Lehrer haben eine Ahnung von dem Vorwissen, das ihre Schüler über den unterrichteten Inhaltsbereich mitbringen und berücksichtigen dies. Sie ahnen auch, auf welchen Missverständnissen bestimmte Fehler der Lernenden beruhen, und sie können auf Fehler und Defizite ihrer Schüler mit gezielten Übungsaufgaben oder Erklärungen reagieren. Wissen über Neurotransmitter oder die Rolle von Hippocampus und Mandelkern bei der Informationsverarbeitung allein reicht nicht aus, um die Schwierigkeiten der Schüler zu verstehen. Für jeden unterrichteten Inhaltsbereich muss derartiges Wissen erarbeitet werden, und von der Wissenschaftsgeschichte und der Entwicklungspsychologie können Lehrer hier mehr profitieren als von der Gehirnforschung.

Auch wenn man Parallelen zwischen Wissenschaftlern, die der Natur eine Gesetzmäßigkeit abringen, und lernenden Kindern nicht überstrapazieren sollte, so findet man doch manchmal Ähnlichkeiten zwischen wissenschaftlichen Irrtümern und Fehlvorstellungen von Schülern. Als Beispiel wird gern die Impetustheorie angeführt, die von Wissenschaftlern zur Erklärung der Bewegung von Objekten herangezogen wurde, bevor Newtons Mechanik die Physik revolutionierte. Die der Impetustheorie verwandte Vorstellung eines sich verbrauchenden Schwunges von in Bewegung versetzten Objekten entspricht einer weit verbreiteten Vorstellung von Schülern und auch erwachsenen Laien. Ähnliche Parallelen gibt es auch bezüglich der Vorstellungen von chemischen Reaktionen bei der Verbrennung: In der Wissenschaft ging man lange Zeit davon aus, dass eine neue Substanz (Phlogiston) entsteht, eine Annahme, die auch bei Laien noch immer verbreitet ist. Wenn Lehrer die Entstehungsgeschichte des zu unterrichtenden Inhaltsbereiches besser kennen, werden sie sensibel dafür sein, dass Schüler nicht in zwei Stunden Unterricht 200 Jahre wissenschaftlichen Fortschritt nachholen können.

Auch neuere Ansätze in der Entwicklungspsychologie können Lehrer helfen zu verstehen, warum sich Schüler mit manchen Inhalten so schwer tun. Bereichsübergreifende Entwicklungstheorien wie die von Piaget sind in den Hintergrund getreten. Die Frage, worin sich die Kognition von Kindern und Erwachsenen unterscheidet, wird heute mit „anders wissen“ und nicht mit „besser denken“ beantwortet. Kinder benutzen zwar oft die gleichen Begriffe wie Erwachsene, aber sie verstehen nicht selten etwas anderes darunter. Am besten lässt sich dies am Gewichts begriff demonstrieren. Kinder bejahen zwar die Frage, ob ein Haufen Reis Gewicht hat, aber sie verneinen die Frage, ob ein einzelnes Reiskorn Gewicht hat. Was aus der Perspektive eines Erwachsenen, der die Schule besucht hat, idiotisch klingt, macht für die Kinder Sinn. Sie setzen nämlich „Gewicht haben“ und „sich schwer anfühlen“ gleich und sind deshalb auch der Meinung, dass für eine Ameise ein Reiskorn Gewicht hat. Dass diese körperbezogene Auffassung von Gewicht nicht mit der Unterentwicklung des kindlichen Gehirns erklärt werden kann, sondern ein Lerndefizit widerspiegelt, konnte kürzlich von Boedeker (2004) gezeigt werden. Auch erwachsene Menschen auf der Pazifikinsel Trobriand, die nie eine Schule besucht hatten, hatten keinen von subjektiven Eindrücken losgelösten Gewichts begriff. Voraussetzung für die Entwicklung eines physikalischen Begriffs von Gewicht ist

die Verfügbarkeit eines Konzepts von „Messung“ sowie einer entsprechenden Metrik. Erst die Integration von mathematischem Wissen und Wissen über Objekte ergibt ein physikalisches Konzept von Gewicht.

Auch Schwierigkeiten beim Verstehen mathematischer Inhalte lassen sich entwicklungspsychologisch erklären. Wie das Lernen der Sprache wird auch das Lernen des Zählens von genetischen Programmen gesteuert. Vorschulkinder lernen auch ohne systematische Instruktion zählen. Es ist ihnen unmittelbar einsichtig, dass sich größere Zahlen auf größere Mengen beziehen. Zwar verwechseln sie manchmal Zahlenamen, aber bestimmte Fehler, wie z.B. das Benennen zweier unterschiedlich großer Mengen mit dem gleichen Zahlenamen, machen sie nie. Die im Laufe der kulturellen Entwicklung entstandene Mathematik hingegen ist nicht intuitiv einsichtig. Kinder, die gelernt haben, dass 8 größer als 7 ist, müssen bei der Einführung der Bruchrechnung erkennen, dass gilt: $6/7 > 6/8$. Auch dass Multiplikation vervielfachen und Division aufteilen bedeutet, ist intuitiv einsichtig. Dass aber die Multiplikation mit einer Zahl, die kleiner als 1 ist, zu einer Verkleinerung und die Division mit einer derartigen Zahl zu einer Vergrößerung führt, ist nicht intuitiv einsichtig. Lehrer, die die Unterscheidung zwischen intuitivem und kulturell tradiertem Wissen ernst nehmen, können besser auf die Schwierigkeiten ihrer Schüler reagieren.

4. Anregende Lernumgebungen

Auf die Frage, wie man Schüler dazu bringt, das Einmaleins, die Binomischen Formeln, den Satz des Pythagoras, ein Gedicht, die Vokabeln und Grammatikregeln einer Fremdsprache, die Hauptstädte Europas oder die Formel für Kraft und Auftrieb zu lernen, würden Lehrer und Psychologen wahrscheinlich ähnliche Antworten geben. Aus der Gedächtnispsychologie wissen wir, dass man in kleineren Schritten üben sollte und die Übungszeit verteilen muss. Verstärkungen in Form von Belohnung und Bestrafung werden mit der Zeit dazu führen, dass unerwünschte Antworten seltener und erwünschte öfter genannt werden. Schwerer ist die Frage zu beantworten, wie man Schüler dazu bringt, beim Schreiben eines Essays in der Fremdsprache die gelernten Vokabeln zu benutzen und die Grammatikregeln zu berücksichtigen. Unter welchen Bedingungen lernen Schüler, die Frage, warum sich ihre Beine wie Blei anfühlen, wenn sie aus dem Schwimmbassin steigen, unter Zuhilfenahme ihres Wissens über Auftrieb zu erklären?

Auf die Frage, wie Lerngelegenheiten gestaltet sein müssen, damit Wissen zur Bewältigung neuer Anforderungen herangezogen werden kann, gibt die Gehirnforschung keine Antwort. Mit Spaß und guter Laune ist es keineswegs getan. Die bei TIMSS und PISA nachgewiesenen Defizite deutscher Schüler in der selbstständigen und flexiblen Anwendung des in der Schule erworbenen Wissens lassen sich nicht mit Störungen in der Dopaminausschüttung erklären, sondern mit dem wenig anregenden Unterricht.

Aus internationalen Vergleichsstudien wie auch aus Schulexperimenten wissen wir inzwischen, wie man Schüler fesseln und bei der Stange halten kann: Man konfrontiert sie mit Anforderungen, die sie noch nicht auf Anhieb bewältigen können, für deren Lö-

sung sie aber bereits Vorwissen mitbringen. Möglichkeiten zur Aktivierung dieses Vorwissens werden durch gezielte Übungs- und Gesprächsangebote gegeben. Irrtümer und Fehler auf Seiten der Schüler sind zugelassen und werden konstruktiv vom Lehrer genutzt. Auf diese Weise erhalten die Schüler Gelegenheit, ihr bestehendes Wissen zu erweitern, zu revidieren und an die spezielle Anforderung anzupassen. Wie solche Lernumgebungen zu gestalten sind, muss für jeden Inhaltsbereich erarbeitet werden und erfordert die gleichberechtigte Zusammenarbeit zwischen Lehrern, Fachdidaktikern und Kognitionswissenschaftlern.

5. Der Blick ins Gehirn: Zukunftsmusik in der Lehr-Lern-Forschung

Zweifellos ist die Zeit reif für Überlegungen, wie wir mit den Methoden der Hirnforschung Lehr-Lern-Prozesse besser verstehen können. Gegenwärtig können wir Lernfortschritte nur mit Hilfe von Leistungsmessungen feststellen. Das macht aber gerade die Erforschung von sinnstiftendem, verstehendem Lernen so schwer. Diese Form von Lernen braucht Zeit, und der Durchbruch, das Aha-Erlebnis, kommt so unverhofft, dass es nur in Ausnahmefällen der Beobachtung zugänglich ist. Wie weiter vorn angesprochen wurde, entsteht verstehendes Lernen aus der Zusammenführung und Umstrukturierung unterschiedlicher Wissensbereiche.

Welche Aktivitäten sich dabei im Gehirn entfalten, bevor es zum Durchbruch kommt, gehört zu den spannenden Fragen der Zukunft. Es wird noch einige Zeit vergehen, bis die Methoden der Gehirnforschung soweit ausgereift sind, dass wir sie im Klassenzimmer einsetzen können und ein Blick in das Gehirn ausreicht, um zu erkennen, ob sich ein Schüler gerade in einer anregenden Lernumgebung befindet oder ob er mit einem Unterricht gequält wird, in dem er Definitionen und Merksätze lernen und über Seiten hinweg gleichförmige Übungen ausführen muss. Bis dahin müssen wir uns mit Laborstudien zufrieden geben, in denen Gehirnaktivitäten von Schülern registriert werden, die zuvor bestimmte Lerngelegenheiten durchlaufen haben.

In Zusammenarbeit mit mehreren Bremer Kollegen gehe ich zur Zeit der Frage nach, ob sich die Gehirnaktivitäten bei der unangemessenen Lösung von Aufgaben in Abhängigkeit von der Leistungsstärke einer Person unterscheiden. Schüler unterscheiden sich in dem Ausmaß, in dem sie von einer Lerneinheit in Physik profitieren. Diese ist aber so anspruchsvoll, dass auch die besten Schüler nicht alle Aufgaben lösen können. Wir erwarten aber, dass sich auch bei der Bearbeitung ungelöster Aufgaben die Gehirnaktivitäten von leistungsschwächeren und leistungsstärkeren Schülern unterscheiden, da Letztere trotz fehlender Lösung aufgrund ihrer komplexeren und besser organisierten Wissensbasis mehr geistige Aktivitäten entfalten können. Mit solchen bescheidenen ersten Versuchen lässt sich vielleicht herausfinden, ob ein Lerner, der das Leistungskriterium noch nicht erreicht hat, geistig aktiv ist oder nicht. Auch bezüglich der Frage nach dem Zustandekommen und der Entwicklung interindividueller Leistungsunterschiede können Methoden der Gehirnforschung vielleicht weiter helfen, wo reine Leistungsmessung an ihre Grenzen stößt.

Viele offene Fragen gibt es noch zum Zusammenwirken von Intelligenz und Wissen bei der Bewältigung geistiger Anforderungen. Einerseits sind genetisch bedingte Unterschiede in der Intelligenz unbestritten, aber andererseits findet man in unterschiedlichen Bereichen, dass eine gut strukturierte Wissensbasis eine notwendige und hinreichende Voraussetzung für die Bewältigung einer geistigen Anforderung in diesem Bereich ist. Auf Leistungsebene wurde vielfach gezeigt, dass weniger intelligente Experten intelligenten Novizen überlegen sind. Grabner, Stern und Neubauer (2003) konnten auch auf kortikaler Ebene zeigen, dass sich zumindest bei Routineaufgaben Intelligenzunterschiede zwischen Taxifahrern vollständig kompensieren lassen. In diesem Zusammenhang interessiert natürlich die Frage, wie sich dies bei anspruchsvolleren Aufgaben verhält, bei denen bestehendes Wissen so umstrukturiert werden muss, dass es auf die Bewältigung neuer Anforderungen zugeschnitten werden kann. Auch hier können wir in den nächsten Jahren erwarten, dass der Blick ins Gehirn während der Informationsverarbeitung interessante Erkenntnisse über interindividuelle Unterschiede im Zusammenwirken von Intelligenz und Wissen liefert.

Literatur

- Boedeker, K. (2004): Die Entwicklung intuitiven physikalischen Wissens im Kulturvergleich. Dissertation angenommen an der Freien Universität Berlin.
- Castelli, F./Frith, C.D./Happé, E./Frith, U. (2002): Autism, Asperger syndrome and brain mechanisms for the attribution of mental states to animated shapes. In: *Brain* 125, S. 1839-1849.
- Grabner, R./Stern, E./Neubauer, A. (2003): When intelligence loses its impact: Neural efficiency during reasoning in a highly familiar area. In: *International Journal of Psychophysiology*, 49, S. 89-98.
- Kintsch, W. (1998): *Comprehension: A paradigm for cognition*. New York: Cambridge University Press.
- Lickliter, R. (2000): The role of sensory stimulation in perinatal development. In: *Journal of Developmental and Behavioral Pediatrics* 21, S. 437-447.
- 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*, 93, S. 144-155.
- Stern, E./Schumacher, R. (2004): Intelligentes Wissen als Lernziel. In: *Universitas* 59, H.2, S. 121-134.

Abstract: *In spite of its fascinating findings on human information processing, brain research as yet only allows for some very general conclusions as to the layout of learning opportunities in pre-school and school. Educational institutions have been established to enable students to acquire and apply, within a few years, knowledge which it has taken mankind hundreds or thousands of years to elaborate. For this to be successful, teachers have to acquire pedagogical content knowledge and use it to optimise learning opportunities. The history of science as well as cognitive psychology provide insights that may help teachers to build up adequate pedagogical content knowledge.*

Anschrift der Autorin:

Prof. Dr. Elsbeth Stern, Max-Planck-Institut für Bildungsforschung, Lentzeallee 94, 14195 Berlin,
E-Mail: stern@mpib-berlin-mpg.de.