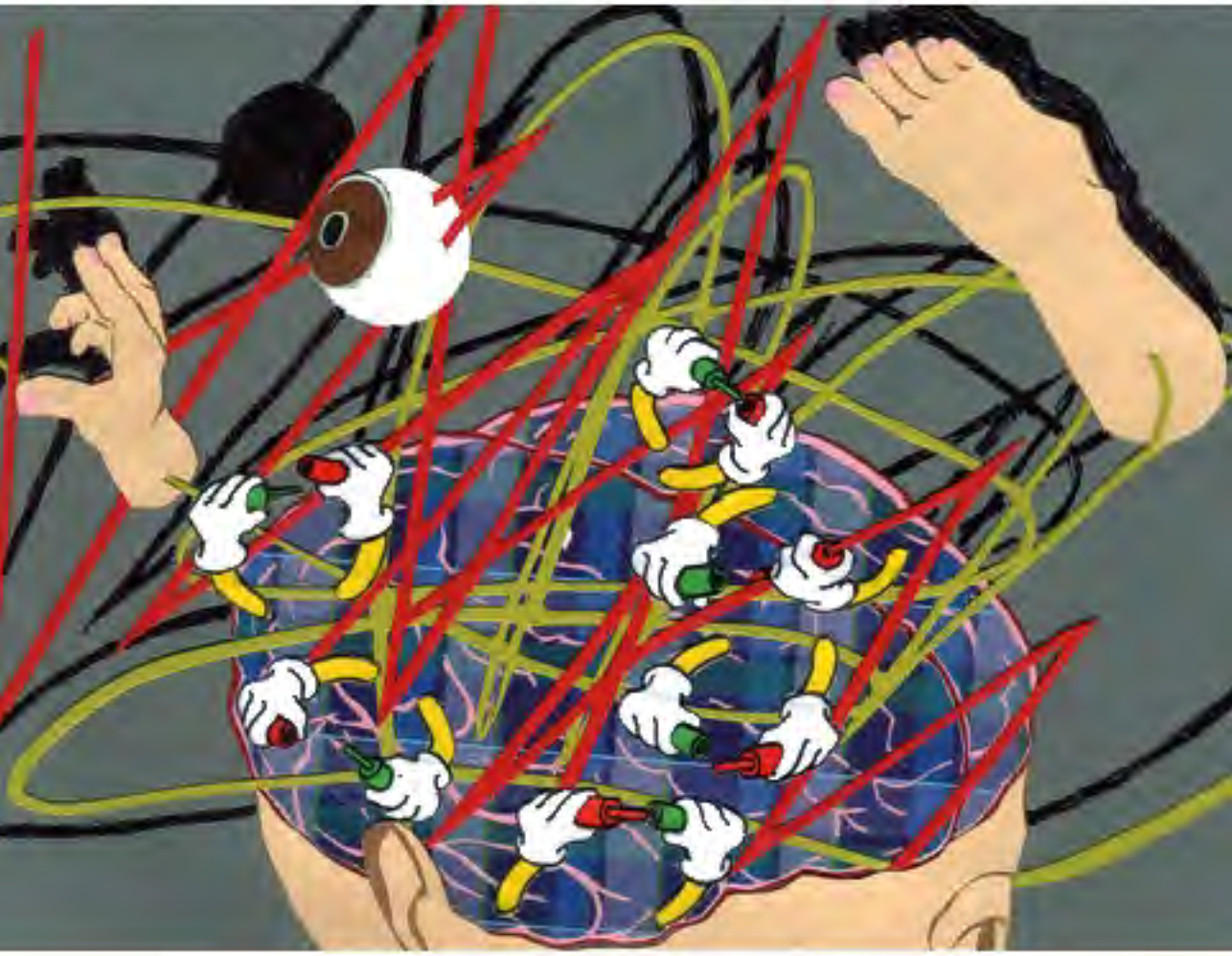
Nr.6
2010

behinderte menschen

KONGRESS-NACHLESE 1

Zeitschrift für gemeinsames Leben, Lernen und Arbeiten



Das **kooperative Gehirn**

www.behindertemenschen.at

P.b.b. · GZ 02Z032433 M · Erscheinungsort Graz · Verlagspostamt 8020 Graz • 33. Jahrgang • ISSN 1561-2791 • Preis pro Nummer 9,00 Euro

Die Bedeutung der Neurowissenschaften für die empirische Lehr- und Lernforschung

Ralph Schumacher, Elsbeth Stern

In diesem Aufsatz geht es um die Frage nach der Bedeutung der Neurowissenschaften für die psychologische und pädagogische Forschung zum menschlichen Lernen: Worin besteht der spezifische Beitrag der Neurowissenschaften zu diesen Forschungen – und welche psychologischen und pädagogischen Fragestellungen lassen sich durch neurowissenschaftliche Untersuchungen grundsätzlich nicht entscheiden?

Dank der zahlreichen Fortschritte auf dem Gebiet der Neurowissenschaften verfügen wir heute über umfassendere Erkenntnisse über menschliches Lernen und geistige Entwicklung als noch vor einem Jahrzehnt. Denn bildgebende Verfahren können uns zum Beispiel Informationen über die Unterschiede zwischen den Gehirnzuständen von Menschen mit normaler geistiger Entwicklung sowie normalen Lernfähigkeiten und Menschen mit Entwicklungsstörungen sowie eingeschränkten Lernkompetenzen liefern.

So haben Einsichten in die Gehirnfunktionen von Schülern mit Lese-Rechtschreibschwäche (Dyslexie) dazu beigetragen, verständlich zu machen, aus welchen Gründen normale Unterrichtsmethoden in manchen Fällen erfolglos bleiben (*Goswami* 2004). Die Entdeckung solcher durch das Gehirn bedingter Einschränkungen für das Lernen hat eine fortdauernde Diskussion darüber ausgelöst, inwieweit Ergebnisse der Hirnforschung generell dazu geeignet sind, eine Grundlage für die Verbesserung von Unterrichtsmethoden bereitzustellen.

Während einige Autoren Leitideen dafür skizziert haben, wie sich pädagogische, psychologische und neurowissenschaftliche Forschungen zum menschlichen Lernen integrieren ließen (*Ansari & Coch* 2006, *Blakemore & Frith* 2005), haben andere Autoren vor unrealistischen Erwartungen an die Neurowissenschaften gewarnt (*Bruer* 1997, 2002, *Goswami* 2005, *Schumacher* 2007) und auf die Gefahr hingewiesen, dass dabei die weitaus besser ausgearbeiteten Theorien zur Verbesserung schulischen Lernens der psychologischen Lehr- und Lernforschung ignoriert werden (*Stern* 2005).

Zunächst sollen einige weit verbreitete Neuromythen dargestellt werden.

Neuromythos Nr. 1

Lässt sich die Intelligenz durch Gehirnjogging steigern?

Ein weit verbreiteter Neuromythos besteht darin, dass sich durch das Lösen von Denksportaufgaben, wie sie beispielsweise in Intelligenztests vorkommen, ganz allgemein die geistigen Fähigkeiten steigern und damit zukünftige Lernprozesse erleichtern lassen. Das Lösen solcher Aufgaben wird oft auch als „Gehirnjogging“ bezeichnet, womit die zugrunde liegende Idee hervortritt, das Gehirn funktioniere im Grunde wie ein Muskel, der sich in gleicher Weise trainieren ließe wie zum Beispiel die Beinmuskulatur durch Jogging. Doch was nützt Gehirnjogging wirklich?

Alles, was Lebewesen erleben und lernen, schlägt sich in einer Veränderung der Hirnstruktur nieder. Verbindungen zwischen Nervenzellen werden aufgebaut, verstärkt, abgeschwächt oder aufgelöst. Lernen wird erleichtert, wenn bereits starke Verbindungen zwischen den Nervenzellen bestehen, die am Lernprozess beteiligt sind. Wann immer man bereits etablierte neuronale Strukturen nutzen kann, fällt das Lernen leichter. Vor dem Hintergrund dieser Überlegungen könnte man tatsächlich meinen, die beste Art der Steigerung der geistigen Leistungsfähigkeit sei das Gehirntraining mit Hilfe von Intelligenzaufgaben. So wünschenswert dies auch wäre – nicht zuletzt weil das Material leicht zu beschaffen und überall einsetzbar ist –, so illusionär bleibt es doch. Die Transfereffekte, wenn sie denn überhaupt auftreten, sind nämlich so gering, dass sie in gar keinem Verhältnis zum Aufwand stehen.

Empirische Ergebnisse sprechen eine klare Sprache: Zwar kann man das Lösen solcher Denksportaufgaben ebenso wie das Lösen von Intelligenztests trainieren. Viele Untersuchungen haben aber gezeigt, dass man dadurch nicht intelligenter wird, sondern eben einfach zu einem Experten für das Lösen von Denksportaufgaben bzw. zu einem Experten für das Lösen von Intelligenztests. Das Gehirn funktio-

niert nämlich nicht wie ein Muskel, der durch Bewegung jeder Art trainiert werden kann. Man kann unser Gehirn auch mit einem Haus mit unzähligen Fenstern vergleichen: Wenn man eines putzt, sind die anderen immer noch schmutzig. Analog dazu trainiert man beim Gehirnjogging immer nur eine konkrete Aufgabe. Gehirnjogging ist also ein cleverer Zeitvertreib, mehr nicht.

Hinzu kommt, dass bei Personen, die regelmäßig das Lösen von Intelligenztests üben, diese Tests ihre Aussagekraft verlieren. Die Situation ist nämlich vergleichbar mit dem Fall, in dem jemand ein Thermometer vor der Messung mit einem Feuerzeug erwärmt: Ebenso, wie das erwärmte Thermometer nicht mehr die wirkliche Temperatur des betreffenden Stoffs oder Körpers anzeigt, ebenso misst auch ein Intelligenztest bei einer Person, die vorher das Lösen von Intelligenztests geübt hat, nicht deren wirkliche Intelligenz. In diesen Fällen wird also das Messergebnis durch das Erwärmen bzw. durch das Training mit den Intelligenztests verfälscht.

Die Befürworter des Gehirnjoggings könnten nun vielleicht einwenden, es gäbe doch sicher Untersuchungen, die belegen würden, dass sich durch das Lösen solcher Denksportaufgaben ganz allgemein die Aufmerksamkeit und die Konzentration verbessern und die Intelligenz steigern lassen. Tatsächlich verhält es sich aber so, dass es zu den Wirkungen des Gehirnjoggings weniger Untersuchungen gibt, als oft angenommen wird. Zudem sind die empirischen Ergebnisse weniger eindeutig, als dies in den Medien sowie von kommerziellen Anbietern solcher Trainings gerne dargestellt wird.
Ein gutes Beispiel ist die Untersuchung des Schweizer Psychologen Walter Perrig und seiner Kollegen, die sehr viel Aufmerksamkeit auf sich gezogen hat (*Jaeggi et al.* 2008). In dieser experimentellen Studie wurde die Hypothese überprüft, ob sich durch das Trainieren von Aufgaben, die hohe Anforderungen an die Aufmerksamkeit stellen – in der kognitionswissenschaftlichen Fachsprache spricht man von Arbeitsgedächtnis – ganz allgemein die Fähigkeit zum Lösen von Aufgaben aus Intelligenztests verbessern. Bei den zu trainierenden Aufgaben ging es darum zu erkennen, welche Buchstaben zusammen mit bestimmten geometrischen Figuren auftreten. Perrig und seine Kollegen konnten zwar zeigen, dass dieses Training kurzfristig positive Effekte auf das Lösen von Intelligenztestaufgaben hat. Allerdings hat der Psychologe Robert Sternberg im Rahmen seiner methodischen Kritik zu Recht hervorgehoben, dass damit noch nichts über die langfristigen Wirkungen dieses Trainings auf die Intelligenz gezeigt wurde (*Sternberg* 2008). Hinzu kommt noch ein besonders wichtiger Kritikpunkt: Da die Kontrollgruppe im Unterschied zur Versuchsgruppe überhaupt kein Training erhalten hatte, lässt diese Untersuchung keinerlei Rückschlüsse darüber zu, ob es sich bei den positiven Wirkungen dieses Trainings tatsächlich um Effekte handelt, die für dieses besondere Training spezifisch sind. Es kann nämlich durchaus sein, dass einfach der Umstand, dass die Personen in der Versuchsgruppe deutlich mehr Zeit mit Lernen verbrachten, für die positiven Wirkungen verantwortlich ist.

Ein solcher Effekt wird in der Psychologie als „schooling effect“ bezeichnet. Solche Effekte liegen also immer dann vor, wenn nicht der besondere Inhalt eines Trainings, sondern der bloße Umstand, dass die eine Gruppe deutlich mehr Zeit mit Lernen verbringt als die andere Gruppe, für die Lerneffekte verantwortlich ist. Nicht selten erweisen sich also bei einer kritischen Analyse des methodischen Vorgehens spektakuläre Befunde als voreilige Schlussfolgerungen.

Neuromythos Nr. 2

Lernen ist gleichbedeutend mit dem Wachstum von Verbindungen zwischen Nervenzellen im Gehirn.

Diesem populären Neuromythos zufolge schlagen sich Lernprozesse auf neuronaler Ebene stets in der Bildung neuer Verbindungen im Gehirn nieder. Demnach gilt: Je mehr Verbindungen bestehen, desto besser ist dies für die geistigen Leistungen.

Tatsächlich verhält es sich aber so, dass Lernprozessen auf neuronaler Ebene zwei ganz unterschiedliche Vorgänge entsprechen – nämlich einerseits das Entstehen von neuen Verbindungen zwischen Nervenzellen sowie andererseits das gezielte Deaktivieren von solchen Verbindungen, die nicht benötigt werden. Dieser zweite Prozess, der als „Pruning“ bezeichnet wird, hat also die Funktion, die Informationsverarbeitung im Gehirn effizienter zu machen, denn es entstehen beim Lernen zunächst sehr viel mehr Verbindungen, als später benötigt werden. Man spricht daher auch von „neuraler Effizienz“, um die Tatsache zu beschreiben, dass die Gehirne von Personen, die in einem bestimmten Gebiet „Experten“ sind, deutlich weniger Aktivierung zeigen und weniger Energie verbrauchen als die Gehirne entsprechender „Novizen“. Aus diesem Grund gilt die schlichte Gleichung „Lernen = Wachstum von Verbindungen zwischen Nervenzellen im Gehirn“ also nicht.

Neuromythos Nr. 3

Aktivitäten, bei denen umfangreiche Gehirnareale aktiviert werden, fördern das Lernen bzw. die kognitive Entwicklung.

Gerade im Zusammenhang mit dem Musikunterricht ist immer wieder zu hören, dass sich aktives Musizieren doch positiv auf das Lernen bzw. auf die kognitive Entwicklung auswirken müsste, weil dabei – wie bildgebende Verfahren zu belegen scheinen – besonders umfangreiche Gehirnareale gleichzeitig aktiviert werden. Diesem Neuromythos liegt die Voraussetzung zugrunde, dass es einen direkten positiven Zusammenhang zwischen dem Umfang der Gehirnaktivierung und der Qualität bzw. der Komplexität der damit einhergehenden geistigen Leistungen besteht. Die neurowissenschaftliche und psychologische Forschung zeigt allerdings, dass die naive Gleichung „mehr Gehirnaktivierung = mehr kognitive Leistung“ nicht gilt.

Die „neurale Effizienz“ zeigt: Personen mit höherer Intelligenz haben demnach ihr Wissen besser organisiert als Personen mit geringerer Intelligenz, so dass die Gehirne intelligenterer Personen bei der Bewältigung von Aufgaben weniger Energie aufwenden müssen und daher weniger Stoffwechselaktivitäten aufweisen als die Gehirne weniger intelligenter Personen. Der Züricher Psychologe Roland Grabner und seine Kollegen (*Grabner et al.* 2006) konnten zudem zeigen, dass sich solche Unterschiede in der neuralen Effizienz nicht nur zwischen den Gehirnen von Personen mit unterschiedlicher Intelligenz, sondern auch zwischen den Gehirnen von Personen mit unterschiedlichem Wissen in einem bestimmten Inhaltsbereich nachweisen lassen. Die Gehirne der Personen mit großem Vorwissen zeigten deutliche größere neurale Effizienz als die Gehirne der Personen mit geringerem Vorwissen. Beide Faktoren: Intelligenz und Vorwissen, wirken sich also positiv auf die Effizienz der Informationsverarbeitung im Gehirn aus und gehen gerade mit *geringeren* Stoffwechselaktivitäten einher.

Neuromythos Nr. 4

Das Gehirn hat „kritische Phasen“

Ein gängiger Neuromythos besteht in der Annahme, wichtige Lernprozesse wären daran gebunden, dass sie innerhalb bestimmter Phasen in der Gehirnentwicklung stattfinden, weil sie nach Abschluss dieser Phasen entweder gar nicht mehr oder nur noch unter großen Mühen nachgeholt werden können. Dieser Neuromythos hat keine wissenschaftliche Grundlage und wird von führenden Kognitionswissenschaftlern und Psychologen wie John Brewer, Uta Frith und Sarah Blakemore in detaillierten Abhandlungen zur kognitiven Entwicklung überzeugend widerlegt. Demnach gibt es keinerlei Untersuchungen, die die Existenz von kritischen Phasen in dem Sinne belegen, dass bestimmte Lernprozesse nach Abschluss dieser Phasen gar nicht mehr oder nur noch unter großen Mühen nachgeholt werden können.

Bestenfalls lassen sich in Bezug auf die Entwicklung grundlegender motorischer und sprachlicher Fähigkeiten so genannte „sensible Phasen“ nachweisen, in denen manche Lernprozesse – wie zum Beispiel das Identifizieren

von Sprachlauten – besonders begünstigt werden. Hingegen gibt es keine Belege dafür, dass es grundsätzlich nicht möglich ist, zum Beispiel eine Fremdsprache auch im Erwachsenenalter noch akzentfrei sprechen zu lernen. Denn selbst wenn dies vielen Personen nicht gelingt, so bleibt es dennoch eine offene Frage, ob Personen mit entsprechend starker Motivation – bei denen zum Beispiel die berufliche Laufbahn davon abhängt – diese Leistung nicht trotzdem erbringen können. Wer hinreichend stark motiviert ist, dem gelingt vielleicht auch dies.

Außerdem ist es wichtig, in diesem Zusammenhang neben der Motivation die Rolle des Vorwissens zu berücksichtigen: Wenn Erwachsene eine Fremdsprache langsamer oder schwieriger lernen als Kleinkinder ihre Muttersprache, dann liegt dies nicht an verpassten kritischen Phasen, sondern vor allem daran, dass die Erwachsenen bereits eine Muttersprache beherrschen und damit über sprachliches Wissen verfügen, das ihnen beim Erwerb einer Fremdsprache manchmal im Wege steht. Sie ziehen auf der Grundlage ihres Wissens von den Regeln ihrer Muttersprache falsche Schlüsse und machen daher in der neuen Fremdsprache Fehler, die Kinder, denen dieses sprachliche Vorwissen fehlt, niemals machen würden. In diesen Fällen interferiert also bei den Erwachsenen das neue mit dem alten sprachlichen Wissen.

Hingegen gibt es in Bezug auf solche Inhalte, die Gegenstände des schulischen Lernens sind, noch nicht einmal sensible Phasen. Diese Inhalte sind nämlich in evolutionärer Perspektive einfach noch zu jung, als dass sich unser Gehirn durch genetisch festgelegte Entwicklungsprogramme auf den Erwerb dieser Inhalte hätte vorbereiten können. Deshalb müssen wir in die Schule gehen, um diese Kenntnisse zu erwerben, und können sie nicht einfach beiläufig wie zum Beispiel motorische Fähigkeiten erwerben.

Wenn es also darum geht, die Voraussetzungen für das schulische Lernen bestimmter Inhalte zu beschreiben, dann geht es dabei nicht um kritische oder sensible Phasen in der Gehirnentwicklung, sondern um Wissensvoraussetzungen: Welche Grundbegriffe und Zusammenhänge muss jemand bereits verstanden haben, damit er einen bestimmten neuen Inhalt verstehen kann? Welche Misskonzepte sind in diesem Zusammenhang verbreitet und könnten das Verstehen des neuen Inhalts erschweren? Gute Lehrpersonen wissen, dass die Kenntnis solcher Wissensvoraussetzungen und Fehlvorstellungen dasjenige ist, was für die erfolgreiche Vermittlung von Inhalten entscheidend ist.

Neuromythos Nr. 5

Gehirndoping

In den populären Medien wird häufig der Eindruck erweckt, als wäre die „Lernpille“ schon erfunden und ein regelmäßiges Gehirndoping beispielsweise bei Schülern, Studierenden und Akademikern bereits weit verbreitet. Aber was ist an solchen Berichten wirklich dran? Gibt es tatsächlich aussagefähige und belastbare Untersuchungen, mit denen sich belegen lässt, dass pharmakologische und elektrische Interventionen zu nennenswerten Steigerungen kognitiver Leistungen führen?

Bislang gibt es keine wissenschaftlich belegte pharmakologische oder elektrische Intervention, die sich als „cognitive enhancer“ eignen würde. Denn es ist eine Sache, unter Laborbedingungen zu zeigen, dass eine einmalige Intervention zu kognitiven Leistungssteigerungen führt. Und es ist eine ganz andere Sache, unter Alltagsbedingungen zu belegen, dass eine regelmäßige Intervention über längere Zeiträume zu nennenswerten und stabilen Leistungsverbesserungen führt. Das erstere lässt sich vergleichsweise einfach bewerkstelligen, aber auf das zweite kommt es letztlich an. Es gibt aber bislang noch keine Langzeitstudien, die sich mit den kognitiven Wirkungen der regelmäßigen Anwendung potentieller „cognitive enhancer“ befassen.

Außerdem müssen die betreffenden Interventionen, die als „cognitive enhancer“ gelten sollen, nicht nur zuverlässig wirken und zu nennenswerten kognitiven Steigerungen führen, sondern auch in ihren Nebenwirkungen

gut verträglich sein. Tatsächlich verhält es sich aber so, dass zum Beispiel zu den kognitiven Wirkungen von Methylphenidat einander widersprechende Untersuchungsergebnisse vorliegen. Außerdem hat sich gezeigt, dass dieser Wirkstoff zu Selbstüberschätzung und höherer Impulsivität führt, so dass die Versuchspersonen, die Methylphenidat erhielten, deutlich mehr Fehler machten als die Personen aus der Placebo-Gruppe. Auch bei dem Acetylcholinesterasehemmer Donepezil ist das Bild in gleicher Weise uneindeutig, weil in verschiedenen Studien sowohl positive als auch negative Wirkungen in Bezug auf kognitive Leistungen festgestellt wurden. Das Gleiche gilt für das bei Schlafstörungen eingesetzte Medikament Modafinil, das zusätzlich noch von der unerwünschten Nebenwirkung begleitet wird, zu Schwierigkeiten beim Einschlafen zu führen. Die Erhöhung des Dopaminspiegels im Gehirn durch Verabreichung von Levodopa kann zwar unter bestimmten Bedingungen einfaches assoziatives Lernen wie beim Vokabellernen fördern und mag daher eine geeignete Maßnahme zur Unterstützung von Rehabilitationstrainings bei Schlaganfallpatienten sein. Da aber die unspezifische Aktivierung des Aufbaus von Assoziationen leicht dazu führen kann, dass sich Menschen viel zu viele nebensächliche oder irreführende Fakten merken oder schlimmstenfalls sogar Phobien entwickeln, ist der Nutzen dieser pharmakologischen Intervention für gesunde Menschen zweifelhaft.

Diese Vorbehalte gegenüber einer unspezifischen Aktivierung des assoziativen Lernens betreffen ebenfalls die dargestellten Studien zur Unterstützung assoziativer Lernprozesse durch das Anlegen von Gleichstrom. Hinzu kommt, dass einfaches assoziatives Lernen vom verstehenden Lernen strikt unterschieden werden muss. Da für das Verstehen komplexerer Zusammenhänge wie zum Beispiel von Grammatikregeln sowie von Regeln für die Groß- und Kleinschreibung das assoziative Lernen nicht ausreicht, sondern verstehendes Lernen erforderlich ist, lässt sich also nicht behaupten, dass durch Verabreichung von Levodopa alle Kompetenzen und Fähigkeiten gefördert werden, die für das Lernen von Sprachen relevant sind.

Die kognitiven Effekte pharmakologischer und elektrischer Interventionen, die bislang überhaupt nachgewiesen werden konnten, sind – abgesehen von den dargestellten Ausnahmen – in der überwiegenden Zahl der Studien eher klein. Zudem stehen in den meisten Fällen noch Replikationen der Untersuchungen aus, bevor die Ergebnisse als belastbare Resultate angesehen werden können. Ein anderes grundsätzliches Problem der bislang vorliegenden Studien liegt darin, dass aufgrund der geringen Anzahl von Versuchspersonen sowie aufgrund des Umstandes, dass es sich bei den meisten Experimenten um Einmalgaben handelt, Verallgemeinerungen zum regelmäßigen Einsatz solcher Stoffe zur kognitiven Förderung gar nicht möglich sind.

Ein weiterer wichtiger Punkt besteht darin, dass die vorliegenden Studien auf eine besonders wichtige und interessante Art des Lernens keine Rückschlüsse zulassen: Gemeint ist das schulische Lernen. Da die Untersuchungen zu den kognitiven Wirkungen verschiedener pharmakologischer und elektrischer Interventionen natürlich nicht an Kindern und Jugendlichen, sondern nur an erwachsenen Personen durchgeführt werden konnten, eignen sich diese Studien also nicht, um damit Thesen zur Verbesserung des schulischen Lernens zu rechtfertigen. Diese Einschätzung des gegenwärtigen Forschungsstands zum Thema „Cognitive Enhancement“ wird auch durch die aktuellen Forschungsübersichten des Neurologen Stefan Knecht von der Universität Münster (*Knecht* 2008), der Psychiater Stephan Schleim und Henrik Walter vom Universitätsklinikum Bonn (*Schleim & Walter* 2007) sowie der Freiburger Psychiater Claus Normann und Mathias Berger bestätigt (*Normann & Berger* 2008). Letztere fassen ihre Ergebnisse mit den folgenden Worten abschließend zusammen: „So far, all clinical trials of neuroenhancing drugs have either failed or demonstrated only very limited efficacy.“

Neuromythos Nr. 6

Gehirnaktivierung und geistige Leistungen

Ein weit verbreiteter Neuromythos besteht in der Annahme, dass zwischen dem Umfang der neuronalen Aktivierung und den geistigen Leistungen ein positiver proportionaler Zusammenhang besteht. Demnach gilt: Je mehr Gehirnareale aktiviert sind, desto größer sind auch die geistigen Leistungen.
Tatsächlich sprechen aber viele neurowissenschaftliche Untersuchungen aus der Expertiseforschung dafür, dass ein solcher Zusammenhang nicht besteht. Personen, die in einem bestimmten Inhaltsbereich viele Kenntnisse sowie praktisches Handlungswissen erworben haben – und daher in Bezug auf diesen Bereich als Experten gelten – haben nämlich ihr umfangreiches Wissen in problemlösungsorientierter Weise organisiert, die es ihnen erlaubt, dieses Wissen unter Aufbietung sehr viel geringerer kognitiver und neuronaler Ressourcen zu nutzen, als dies bei Personen mit geringerem Inhaltswissen – den so genannten Novizen – der Fall ist.
Worauf es also ankommt, wenn es um geistige Leistungen geht, ist nicht das Ausmaß neuronaler Aktivierung, sondern der Umfang sowie die intelligente Organisation des Wissens. Die Gehirne von Experten sind in kognitiver sowie in neuronaler Hinsicht effizienter organisiert als die Gehirne von Novizen, die bei den gleichen Aufgaben deutlich höhere Stoffwechselaktivitäten und höheren Energieverbrauch zeigen als die Gehirne von Experten.

Beispiele für die Kooperation zwischen Neurowissenschaften und psychologischer Lehr- und Lernforschung

Um die Bedeutung der Neurowissenschaften für die psychologische Forschung zum menschlichen Lernen zu veranschaulichen, werden im Folgenden sechs exemplarische Fälle der Kooperation zwischen beiden Disziplinen dargestellt:

Neurowissenschaftliche Erklärungen für entwicklungsspezifische kognitive Defizite

Neurowissenschaftliche Untersuchungen können Erklärungen für entwicklungsspezifische kognitive Defizite liefern, die auf kognitionswissenschaftlicher Ebene bereits bekannt und untersucht sind. Dies trifft zum Beispiel auf die Studie von Judy DeLoache (2004) zu, in der die mangelnde Fähigkeit von 18 bis 30 Monate alten Kleinkindern, verkleinerte Modelle von Gegenständen wie Stühlen, Rutschen oder Autos als verkleinerte Modelle zu erkennen (und entsprechend zu handeln), in Beziehung gesetzt wird zu der neurowissenschaftlichen Einsicht, dass visuelle Informationen im menschlichen Gehirn in zwei verschiedenen Systemen, nämlich im ventralen und im dorsalen System, verarbeitet werden, die in diesem Entwicklungsstadium noch nicht ausreichend miteinander verbunden sind.

Neurowissenschaftliche Erklärungen für kognitive Leistungsstörungen

Neurowissenschaftliche Untersuchungen können zur Erklärung kognitiver Leistungsstörungen beitragen. Ein Beispiel ist die Erklärung der Lese- und Rechtschreibschwäche (Dyslexie). Die meisten Kinder mit Dyslexie haben eine verminderte phonologische Bewusstheit. Das bedeutet, sie haben Schwierigkeiten, zusammengesetzte Sprachlaute in Wörtern zu erkennen und zu erzeugen. Kinder mit solchen phonologischen Defiziten zeichnen sich zudem durch deutlich geringere neuronale Aktivitäten im temporal-parietalen Bereich aus, wenn sie zum Beispiel mit Aufgaben beschäftigt sind, bei denen es darum geht zu entscheiden, ob sich bestimmte Silben reimen (*Simos et al.* 2002). Da die Aktivierung in dieser Hirnregion mit besserer Lesefähigkeit zunimmt, lässt sich Dyslexie also mit einer verminderten Hirntätigkeit in diesem Bereich erklären (*Shaywitz et al.* 2002).

Außerdem ist in diesem Zusammenhang wichtig, dass neurowissenschaftliche Untersuchungen dadurch für die psychologische Lehr- und Lernforschung Bedeutung gewinnen können, dass sie uns Hinweise auf die Art der neuronalen Ursachen kognitiver Leistungsstörungen geben. Zum Beispiel hat sich gezeigt, dass Dyslexie nicht auf einer Fehlentwicklung des

phonologischen Systems, sondern auf einer verlangsamten Entwicklung dieses Systems beruht (*Goswami* 2004). Da es denkbar ist, dass man auf verlangsamte Entwicklungen mit anderen Trainingsmaßnahmen als auf Fehlentwicklungen reagiert, lassen sich aus solchen Einsichten möglicherweise auch praktische Konsequenzen für die Beseitigung von Leistungsstörungen ableiten.

Verschiedene Ursachen kognitiver Leistungsstörungen

Kognitive Leistungsstörungen können mehrere neuronale Ursachen haben. Während sich also in solchen Fällen auf der Verhaltensebene keine Unterschiede feststellen lassen, können im Zuge neurowissenschaftlicher Untersuchungen bei verschiedenen Personen unterschiedliche Ursachen dieser Störung identifiziert werden. Dies trifft zum Beispiel auf die Lese- und Rechtschreibschwäche zu, der sowohl Störungen im visuellen System als auch Störungen im auditiven System zugrunde liegen können. Entsprechend diesen Unterschieden müssen also verschiedene Trainingsmaßnahmen ergriffen werden, um die kognitive Störung zu beseitigen. Auf diese Weise können neurowissenschaftliche Untersuchungen praktische Konsequenzen für Trainings- bzw. Unterrichtsmaßnahmen haben. Dabei muss allerdings einschränkend hervorgehoben werden, dass sie noch nichts über die inhaltliche Beschaffenheit dieser Maßnahmen aussagen. In erster Linie erfahren wir durch solche Untersuchungen nämlich nur, dass wir verschiedene Trainingsmaßnahmen ergreifen müssen, um die kognitiven Störungen zu beseitigen.

Frühzeitige Diagnose kognitiver Entwicklungsstörungen anhand neurowissenschaftlicher Befunde

Es mag im Prinzip möglich sein, anhand neurowissenschaftlicher Befunde kognitive Entwicklungsstörungen frühzeitig zu diagnostizieren, bevor sie sich auf der Verhaltensebene zeigen. Dies setzt voraus, dass es einen eindeutigen Zusammenhang zwischen dem Auftreten bestimmter Hirnzustände zu einem bestimmten Entwicklungszeitpunkt und dem späteren Auftreten bestimmter Leistungsstörungen gibt. Gegenwärtig lassen jedoch die neurowissenschaftlichen Methoden noch keine zuverlässige Frühdiagnose – zum Beispiel von Sprachstörungen – im Einzelfall zu.

Entscheidungen zwischen konkurrierenden kognitionswissenschaftlichen Erklärungen

Neurowissenschaftliche Befunde können in manchen Fällen herangezogen werden, um zu entscheiden, welcher von zwei konkurrierenden psychologischen Erklärungen der Vorzug gegeben werden soll. Erklärt zum Beispiel Theorie A Dyslexie mit Störungen in der visuellen Wahrnehmung und Theorie B mit Störungen beim Sprachverstehen, dann ist es möglich, durch neurowissenschaftliche Untersuchungen der entsprechenden Hirnareale herauszufinden, welche dieser beiden Erklärungen zutrifft (siehe dazu auch *Goswami* 2004).

Das Trainieren von Vorläuferfähigkeiten

Neurowissenschaftliche Untersuchungen habe gezeigt, dass bestimmte Hirnareale, die später bei Erwachsenen wichtige Funktionen für das Rechnen übernehmen, bei Kindern besonders aktiviert werden, wenn sie ihre Finger abzählen (*Dehaene* 1997). Dieser Befund ist vereinbar mit der Annahme, dass es sich beim Rechnen mit Fingern um eine mathematische Vorläuferfähigkeit handelt, deren Förderung sich positiv auf den späteren Kompetenzerwerb auswirkt. Sollte sich diese Prognose in längsschnittlich angelegten Trainingsstudien als zutreffend herausstellen, dann würden sich aus neurowissenschaftlichen Einsichten – in Kombination mit Ergebnissen psychologischer Längsschnittsstudien – Anleitungen für die Unterrichtsgestaltung ergeben.

In diesem Zusammenhang muss aber beachtet werden, dass allein aus dem Befund, dass durch das Abzählen der Finger bei Kindern Hirnareale aktiviert werden, die später im Erwachsenenalter für das Ausführen von Rechenoperationen relevant sind, noch nicht ableiten lässt, dass die späteren Rechenleistungen gezielt durch das Üben des Fingerabzählens in der Kindheit verbessert werden können. Aus der Tatsache, dass man seine Hände beim Essen sowie beim Schreiben benutzt, würde man ja auch nicht schließen, dass Essen eine gezielte Übung für das spätere Schreiben ist. Dass

am Zustandekommen zweier Kompetenzen die gleichen physiologischen Grundlagen beteiligt sind, lässt noch keinerlei Schlüsse über Fördermöglichkeiten zu. Bei der Entwicklung der Rechenleistungen kann nämlich angenommen werden, dass diese zudem von einer ganzen Reihe kultureller Faktoren abhängt, die im Zuge der Beschreibung des menschlichen Gehirns überhaupt nicht erfasst werden.

Die sechs dargestellten Fälle machen deutlich, dass neurowissenschaftliche Untersuchungen für die psychologische Lehr- und Lernforschung durchaus von Bedeutung sind, weil sich mit ihnen Unterschiede und Gemeinsamkeiten aufdecken lassen, die auf der Verhaltensebene nicht beobachtet werden können. In diesem Zusammenhang ist es wichtig zu beachten, dass sich viele der dargestellten Fälle auf die Diagnose und Erklärung von kognitiven Leistungsstörungen beziehen. Von der unbestreitbaren Kompetenz der Neurowissenschaften hinsichtlich der Diagnose und Erklärung pathologischer Fälle darf aber nicht vorschnell darauf geschlossen werden, dass ihr damit die gleichen Kompetenzen auch für die Gestaltung von Lerngelegenheiten im normalen Schulunterricht zukommen.

Gründe für die prinzipielle Unterbestimmtheit der Neurowissenschaften in Bezug auf die Gestaltung schulischen Lernens

Grund Nr. 1:
Psychologische Erklärungen lassen sich nicht auf neurowissenschaftliche Erklärungen reduzieren.

Auch wenn geistige Zustände stets durch entsprechende Hirnzustände realisiert werden, so bedeutet dies nicht, dass sich psychologische Begriffe und Erklärungen auf neurowissenschaftliche Begriffe und Erklärungen reduzieren lassen. Dies liegt daran, dass diese Begriffe und Erklärungen zu ganz verschiedenen und voneinander unabhängigen Erklärungsebenen gehören, die durch spezifische Methoden und Erklärungsziele charakterisiert sind. Während es auf neurowissenschaftlicher Ebene darum geht, kausale Erklärungen für die Abfolge von Hirnzuständen zu finden, geht es auf der psychologischen Ebene darum, das Verhalten von Personen zum Beispiel unter Rückgriff auf deren Absichten, Erwartungen und Überzeugungen zu erklären. Um die Nicht-Reduzierbarkeit psychologischer Begriffe und Erklärungen zu illustrieren, wird im Folgenden auf ein Beispiel aus der Entwicklungspsychologie eingegangen.

Die Untersuchung von Stephanie Carlson und ihren Kollegen (2005) zum Zusammenhang zwischen inhibitorischer Kontrolle und symbolischer Repräsentation bei Vorschulkindern ist ein gutes Beispiel, um die zentrale Erklärungsfunktion von nicht-reduzierbaren kognitiven Begriffen in psychologischen Theorien der kognitiven Entwicklung zu veranschaulichen. Carlson und ihre Kollegen haben untersucht, welche Rolle das Verfügen über symbolische Repräsentationen für die Entwicklung der inhibitorischen Kontrolle von Gedanken und Handlungen spielt. Demnach besteht eine entscheidende Voraussetzung für die inhibitorische Kontrolle in der Fähigkeit, die eigene Aufmerksamkeit gezielt zu steuern, um sie von den attraktiven Qualitäten begehrter Gegenstände fort zu lenken, die in uns spontane Handlungsimpulse auslösen.

Was ermöglicht diese Art der Aufmerksamkeitssteuerung? Carlson und ihre Kollegen argumentieren, dass das Verfügen über abstrakte symbolische Repräsentationen eine grundlegende Voraussetzung der Aufmerksamkeitssteuerung ist. Abstrakte Symbole versetzen uns nämlich in die Lage, uns von sinnlich wahrgenommenen Qualitäten geistig zu distanzieren und darüber nachzudenken, welches Verhalten in der betreffenden Situation zum Erfolg führt. Sie vertreten daher die Hypothese, dass sich Unterschiede im Grad der Abstraktheit verfügbarer Symbolsysteme in der Weise auf das Verhalten auswirken, dass sich die inhibitorische Kontrolle mit zunehmender Abstraktheit der Symbole verbessert.

Um diese Hypothese in ihren Experimenten zu überprüfen, haben Carlson und ihre Kollegen so genannte Konflikt-Aufgaben verwendet, bei denen die Vorschulkinder einen dominanten

Handlungsimpuls unterdrücken und einen konträren Handlungsimpuls aktivieren mussten. Bei diesen Tests, die auch als „Weniger ist mehr"-Tests bezeichnet werden, wurden den Kindern stets zwei unterschiedlich große Mengen von Süßigkeiten präsentiert, die die Kinder gerne haben wollten. Diejenigen Süßigkeiten, auf die die Kinder zeigten, gingen dabei stets an ein Spielzeugtier, das den Kindern gegenüber saß, und sie selber erhielten die anderen Süßigkeiten. Die Kinder hatten also die Aufgabe, auf eine kleinere Belohnung (z.B. zwei Bonbons) zu zeigen, um selber die größere Belohnung (z.B. fünf Bonbons) zu erhalten. Es stellte sich heraus, dass die Repräsentation der Süßigkeiten durch Symbole mit unterschiedlichem Abstraktionsgrad tatsächlich den erwarteten positiven Einfluss auf das Problemlöseverhalten der Kinder hat.

In dieser psychologischen Erklärung spielt der *Grad der Abstraktheit* der verfügbaren Repräsentationen eine zentrale Rolle: Je abstrakter die verfügbaren symbolischen Repräsentationen sind, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Vorschulkinder die Konflikt-Aufgaben richtig lösen. In der experimentellen Studie von Carlson und ihren Kollegen waren die Symbole von einer Maus und von einem Elefanten die abstraktesten Repräsentationen unterschiedlicher Mengen von Süßigkeiten. Es ist in diesem Zusammenhang wichtig zu beachten, dass die Eigenschaft, eine abstrakte Repräsentation zu sein, nicht eine intrinsische, sondern eine *relationale* Eigenschaft ist. Es hängt nämlich ganz allein davon ab, wofür ein Symbol stehen soll. Wenn die Symbole von einer Maus und von einem Elefanten verwendet werden, um verschiedene Mengen von Süßigkeiten zu repräsentieren, dann können sie durchaus als abstrakte Repräsentationen betrachtet werden. Werden sie hingegen als Symbole für Mäuse bzw. für Elefanten verwendet, dann ist es nicht angemessen, sie als abstrakte Repräsentationen anzusehen.
Ob ein Symbol eine abstrakte Repräsentation ist, hängt also allein von dessen Inhalt bzw. davon ab, für welche Objekte dieses Symbol stehen soll. *Der Inhalt von Repräsentationen kann aber mit neurowissenschaftlichen Begriffen grundsätzlich nicht erfasst werden, denn dazu müssen die Beschreibungen über das menschliche Gehirn hinausgehen und externe, außerhalb des Gehirns liegende Faktoren wie die Relationen zwischen geistigen Repräsentationen und den von ihnen repräsentierten Objekten berücksichtigen.* Aus diesem Grund kann mit den Mitteln der Neurowissenschaften – unabhängig davon, wie groß deren zukünftige Fortschritte auch sein mögen – zum Beispiel der Unterschied zwischen abstrakten und konkreten Repräsentationen prinzipiell nicht erfasst werden. Folglich handelt es sich bei dem Begriff des Abstraktheitsgrades geistiger Repräsentationen um einen psychologischen Begriff, der grundsätzlich nicht auf neurowissenschaftliche Begriffe reduziert werden kann. Psychologische Erklärungen, die solche psychologischen Begriffe enthalten, lassen sich daher ebenfalls nicht auf neurowissenschaftliche Erklärungen reduzieren.

Grund Nr. 2:
Neurowissenschaftliche Einsichten sind im Hinblick auf die Frage nach der Gestaltung schulischer Lerngelegenheiten prinzipiell unterbestimmt, weil in diesem Zusammenhang in erster Linie kulturelle Faktoren eine entscheidende Rolle spielen, die außerhalb des Gehirns liegen.

Wenn es um Fragen optimaler Unterrichtsgestaltung geht, kommt dem menschlichen Gehirn nur die Rolle eines Teilsystems zu. Dieses Teilsystem ist zwar unentbehrlich. Aber da es eben nur einen Teil eines größeren Zusammenhanges darstellt, kann seine Beschreibung prinzipiell nicht sämtliche Aspekte erfassen, die für das Aufstellen konkreter Anleitungen für die Wissensvermittlung im Schulunterricht relevant sind.

Dies liegt daran, dass es im Schulunterricht um die Vermittlung von Wissen in Bereichen geht, in denen kein *privilegiertes Lernen* erwartet werden kann. Privilegiertes Lernen liegt dann vor, wenn durch biologische Entwicklungsprogramme festgelegt ist, durch welche Umweltbedingungen bestimmte Lernprozesse ausgelöst werden und auf welche Weise diese Lernprozesse anschließend ablaufen. Das Sprechen sowie viele motorische Fähigkeiten

Fortsetzung nach dem Praxisteil auf Seite 57

wie das aufrechte Gehen werden auf diese Weise erlernt. Beim *nicht-privilegierten Lernen* hingegen ist nicht biologisch festgelegt, welche Faktoren bestimmte Lernprozesse auslösen und wie diese Lernprozesse ablaufen. Dieser Unterschied zwischen privilegiertem und nicht-privilegiertem Lernen, der insbesondere in den Arbeiten von Elsbeth Stern (2004) hervorgehoben wird, entspricht der Differenzierung, die Uta Frith (2001) zwischen *fast route learning* und *slow route learning* trifft. Während beim fast route learning Lernprozesse durch spezifische biologisch festgelegte „Start-up-Mechanismen" gesteuert werden, erfolgt das slow route learning nach allgemeinen Lernprinzipien. Der Evolutionspsychologe David Geary (1996) kennzeichnet denselben Unterschied wiederum mit dem Begriffspaar „primary and secondary abilities".

Das nicht-privilegierte Lernen betrifft alle Inhalte und Fähigkeiten, um deren Vermittlung es im Schulunterricht geht – wie zum Beispiel Lesen, Schreiben und Mathematik. Auf den Erwerb dieser Fähigkeiten hat die Evolution unser Gehirn nämlich nicht vorbereiten können, weil es diese Kulturtechniken erst seit entwicklungsgeschichtlich relativ kurzer Zeit gibt. Folglich muss die Beschreibung der Voraussetzungen für diese Art des Lernens über die Beschreibung der Bedingungen, die auf Seiten des menschlichen Gehirns erfüllt werden müssen, hinausgehen und zusätzlich weitere externe – vor allem kulturelle – Faktoren einbeziehen, die für erfolgreiches Lernen relevant sind!

Bei den Voraussetzungen des nicht-privilegierten Lernens handelt es sich in erster Linie um Wissensvoraussetzungen. Damit Kindern im Schulunterricht zum Beispiel das physikalische Konzept der Dichte beigebracht werden kann, müssen sie bereits über andere physikalische Konzepte wie Gewicht und Volumen verfügen. Ebenso verhält es sich, wenn man ihnen erklären will, warum Wale nicht zu den Fischen, sondern zu den Säugetieren gehören. Denn um verstehen zu können, dass Tiere nicht anhand ihres Lebensraumes, sondern anhand der Art und Weise ihrer Fortpflanzung klassifiziert werden, müssen Kinder bereits entsprechende Kenntnisse über die Fortpflanzung besitzen. Die Beschreibungen solcher Wissensvoraussetzungen lassen sich aber grundsätzlich nicht auf neurowissenschaftliche Beschreibungen von Hirnzuständen reduzieren – und zwar aus drei verschiedenen Gründen:

1. Ein Grund betrifft die psychologischen Begriffe, mit denen wir die geistigen Zustände charakterisieren, in denen sich Personen befinden, die etwas wissen, glauben oder vermuten. Denn ebenso wenig, wie sich die funktionalen Eigenschaften, ein Stuhl, ein Geschäftsführer, ein Verrechnungsscheck oder ein Kriminalroman zu sein, anhand rein physikalischer Begriffe definieren lassen, kann mit Hilfe rein neurowissenschaftlicher Begriffe beschrieben werden, was es heißt, zum Beispiel Wissen oder Überzeugungen über die Art und Weise der Fortpflanzung von Säugetieren zu haben.

2. Ein weiterer Grund betrifft die Begriffe, mit denen wir die Inhalte dieser geistigen Zustände beschreiben. Keine Beschreibung von Hirnzuständen ist für sich genommen hinreichend, um zu kennzeichnen, an welche Inhalte die betreffende Person gerade denkt, weil durch die intrinsischen Zustände des Gehirns nicht festgelegt wird, worauf sich geistige Zustände beziehen. Ein und derselbe Hirnzustand kann nämlich – um auf Hilary Putnams (1975) berühmtes Gedankenexperiment Bezug zu nehmen – auf unserer Erde mit dem Auftreten von Wasser und auf einer anderen, unserer Erde (mit Ausnahme der Zusammensetzung von Wasser) weitgehend ähnlichen Zwillingserde mit dem Auftreten einer anderen durchsichtigen und trinkbaren Flüssigkeit mit dem Namen „Zwasser" kovariieren. Neurowissenschaftliche Beschreibungen des Gehirns sind also prinzipiell unterbestimmt im Hinblick auf die Inhalte geistiger Zustände. Zusätzlich zu den oben genannten psychologischen Begriffen benötigen wir deshalb noch weitere Begriffe, die sich auf Sachverhalte außerhalb des Gehirns – nämlich auf die Umwelt, mit der die betreffende Person interagiert – beziehen, um die für das nicht-privilegierte Lernen erforderlichen Wissensvoraussetzungen beschreiben zu können.

3. Ein zusätzlicher wichtiger Punkt liegt darin, dass eine wesentliche Voraussetzung für nicht-privilegiertes Lernen darin besteht, dass die betreffende Wissensbasis gut organisiert ist. Unter welchen Bedingungen eine Wissensbasis gut organisiert ist, kann aber prinzipiell nur unter Bezugnahme auf die spezifischen Anforderungen und Lernziele beurteilt werden, die einer Person vorgegeben werden. Die Eigenschaft, gut organisiert zu sein, ist nämlich keine intrinsische Eigenschaft, die einer Wissensbasis unabhängig von konkreten Aufgabenstellungen und Lernsituationen zukommt. Vielmehr handelt es sich dabei um eine relationale Eigenschaft, die wir einer Wissensbasis nur dann zuschreiben können, wenn wir gleichzeitig auch präzisieren, in Bezug auf welche konkreten Anforderungen und Lernziele eine Wissensbasis gut organisiert sein soll. Das Vokabular, mit dem diese Anforderungen und Lernziele dargestellt werden, ist aber nicht auf neurowissenschaftliche Begriffe reduzierbar, weil es sich bei diesen Anforderungen und Lernzielen um kulturelle Faktoren handelt, die außerhalb des Gehirns liegen. Hinzu kommt, dass Anforderungen und Lernziele eine normative Komponente enthalten, denn sie geben schließlich vor, welche kognitiven Leistungen erbracht werden müssen, damit eine Wissensbasis in den entsprechenden Hinsichten als gut organisiert qualifiziert werden kann. Da aber neurowissenschaftliche Begriffe rein deskriptiver Natur sind, eignen sie sich grundsätzlich nicht dazu, diesen normativen Aspekt von Anforderungen an die Wissensbasis darzustellen. Aus diesen Gründen kann es also prinzipiell keine neurowissenschaftlichen Kriterien dafür geben, wann eine Wissensbasis gut organisiert ist. Stattdessen benötigen wir psychologische und pädagogische Konzepte, um die Anforderungen und Lernziele zu beschreiben, auf die wir uns beziehen müssen, um die Organisation von Wissensvoraussetzungen qualifizieren zu können.

Die Regatta-Analogie

Diese Überlegungen lassen sich mit dem folgenden Beispiel veranschaulichen: Was muss ich wissen, um bei einer Regatta gewinnen zu können? Nun, zuerst einmal muss ich die physikalischen Eigenschaften meines Bootes – zum Beispiel seine Segelfläche, seinen Tiefgang sowie die Größe seines Kiels oder Schwerts – kennen, um dessen Verhalten unter bestimmten Wind- und Wasserbedingungen vorhersehen zu können. Ohne diese Kenntnisse weiß ich nicht, was ich meinem Boot abverlangen kann, und ich brauche diese Kenntnisse auch, um einschätzen zu können, welche Leistungen ausfallen, wenn bestimmte physikalische Voraussetzungen nicht erfüllt sind – wenn zum Beispiel das Ruder gebrochen oder der Mast geknickt ist.

Darüber hinaus benötige ich für meine erfolgreiche Teilnahme an einer Regatta aber auch noch Wissen von den Verkehrsregeln für korrektes Segeln – zum Beispiel Wissen von den Vorfahrtsregeln – sowie Kenntnisse von Strategien für erfolgreiches Segeln und von den Absichten und Kenntnissen meiner Konkurrenten. Bei dem zuletzt genannten Voraussetzungen handelt es sich um Wissen, das sich nicht auf Kenntnisse der physikalischen Eigenschaften meines Segelbootes reduzieren lässt, weil sich dieses Wissen auf Faktoren bezieht, die *außerhalb* meines Segelbootes liegen.

Damit lässt sich die folgende Analogie zum menschlichen Gehirn formulieren: Ebenso, wie das Segelboot im Kontext einer Regatta ein Teilsystem innerhalb eines größeren Zusammenhanges ist, ist auch das Gehirn im Kontext des schulischen Lernens ein Teilsystem, das in einem größeren Zusammenhang steht. Und ebenso wie die Kenntnis der physikalischen Eigenschaften des Segelbootes für sich genommen nicht hinreichend ist, um Anleitungen für eine erfolgreiche Teilnahme an einer Regatta aufstellen zu können, können auch neurowissenschaftliche Beschreibungen des Gehirns für sich genommen prinzipiell nicht ausreichen, um konkrete Anleitungen für die optimale Wissensvermittlung im Schulunterricht aufzustellen. Vielmehr sind sie in Bezug auf solche Anleitungen aus prinzipiellen Gründen unterbestimmt.

Literatur

- **BLAKEMORE SARAH J. & UTA FRITH (2006).** Wie wir lernen. Was die Hirnforschung darüber weiß. DVA
- **BREWER JOHN, (2003).** Der Mythos der ersten drei Jahre. Beltz-Verlag
- **DEHAENE, S. (1997).** The Number Sense. New York, Cambridge
- **DELOACHE, J. S. ET AL. (2004).** Scale Errors Offer Evidence for a Perception-Action Dissociation Early in Life. Science, 304, 1027–1029.
- **FRITH, UTA (2001).** What framework should we use for understanding developmental disorders? Developmental Neuropsychology, 20, 555–563.
- **GEARY, DAVID (1996).** Sexual selection and sex differences in mathematical abilities. Behavioural and Brain Sciences, 19, 229–284.
- **GOSWAMI, U. (2004).** Neuroscience and education. British Journal of Educational Psychology, 74, 1–14.
- **GRABNER, R., STERN, E., & NEUBAUER, A. (2003).** When intelligence loses its impact: Neural efficiency during reasoning in a highly familiar area. International Journal of Psychophysiology, 49, 89–98.
- **GRABNER, R., NEUBAUER, A., & STERN, E. (2006).** Superior Performance and Neural Efficiency. Brain Research Bulletin, 69, 422–439
- **GRABNER, R., NEUBAUER, A., & STERN, E. (2006).** Superior Performance and Neural Efficiency. Brain Research Bulletin, 69, 422–439.
- **JAEGGI, S. M., BUSCHKUEHL, M., JONIDES, J., & PERRIG, W. J. (2008).** Improving fluid intelligence with training on working memory. PNAS, 105 (19), 6829–6833.
- **KNECHT, S. (2008).** „Gehirndoping" – Was steckt dahinter? Forschung & Lehre, 8, 514–517.
- **NEUBAUER ALJOSCHA & ELSBETH STERN (2007).** Lernen macht intelligent. Warum Intelligenz gefördert werden muss. DVA
- **NORMANN, C., & BERGER, M. (2008).** Neuroenhancement: status quo and perspectives. European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience, 258, (5), 110–114.
- **PUTNAM, HILARY (1975).** The meaning of "meaning". Philosophical Papers: Mind, Language and Reality, Cambridge, 3–47.
- **SCHLEIM, S., & WALTER, H. (2007).** Cognitive Enhancement. Fakten und Mythen. Nervenheilkunde, 26, 83–87.
- **SHAYWITZ, B. ET AL. (2002).** Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia. Biological Psychiatry, 20, 101–110.
- **SIMOS, P. G. ET AL. (2002).** Dyslexia-specific brain activation profile becomes normal following successful remedial training. Neurology, 8, 1203–1213.
- **STERN, ELSBETH (2004).** Wie viel Hirn braucht die Schule? Chancen und Grenzen einer neuropsychologischen Lehr-Lern-Forschung. Zeitschrift für Pädagogik, 50, 531–538.
- **STERNBERG, R. (2008).** Increasing fluid intelligence is possible after all. Proc Natl Acad Sci USA, 105, 6791–6792.

Der Autor, die Autorin

Dr. Ralph Schumacher
ralph.schumacher@ifv.gess.ethz.ch

Dr. Ralph Schumacher gehört zum Leitungsteam des MINT-Lernzentrums der ETH Zürich.
Arbeitsgebiete: Die Optimierung des naturwissenschaftlichen Unterrichts, Kognitive Entwicklung und Lernen, Theorien des Bewusstseins, das Verhältnis von Lehr- und Lern-Forschung zur Hirnforschung
Wichtige Buchveröffentlichungen:
- Perception and Reality (2004)
  Lehr-Lern-Forschung und Neurowissenschaften: Erwartungen, Befunde und Forschungsperspektiven (zusammen mit E. Stern & R. Grabner) (2005)
- Macht Mozart schlau? Die Förderung kognitiver Kompetenzen durch Musik (2007)
- Perspectives on Colour Perception (2007)
- Pauken mit Trompeten. Lassen sich Lernstrategien, Lernmotivation und soziale Kompetenzen durch Musikunterricht fördern? (2009)

Prof. Dr. Elsbeth Stern
elsbeth.stern@ifv.gess.ethz.ch

Prof. Dr. Elsbeth Stern Ist Professorin für Lehr- und Lernforschung an der ETH Zürich
Arbeitsgebiete: Kognitive Entwicklung, Intelligenz, Lernen in den Bereichen Mathematik und Naturwissenschaften, Wissenstransfer
Wichtige Buchveröffentlichungen:
- Neubauer, A. & Stern, E. (2007). Lernen macht intelligent. Warum Begabung gefördert werden muss. München: DVA.
- Stern, E., Grabner, R., & Schumacher, R. (2005). Lehr-Lern-Forschung und Neurowissenschaften: Erwartungen, Befunde und Forschungsperspektiven. Reihe Bildungsreform Band 13. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF).