

---

Ralph Schumacher/Elsbeth Stern

## **Neurowissenschaften und Lehr-Lern-Forschung: Welches Wissen trägt zu lernwirksamem Unterricht bei?**

---

### **Zusammenfassung**

*Neurowissenschaftliche Ergebnisse besitzen für sich genommen keine Bedeutung für die Gestaltung schulischer Lerngelegenheiten. Die Methoden der Hirnforschung eignen sich weder dazu, Wissensunterschiede zwischen den Lernenden aufzudecken, noch geben sie Anleitung für die Darbietung von Informationen. Ein zukünftiges Potenzial neurowissenschaftlicher Methoden liegt jedoch in der Aufdeckung von Unterschieden in der Informationsverarbeitung, die sich auf der Verhaltensebene nicht beobachten lassen.*

*Schlüsselwörter: Neurowissenschaften und Lernen, Potenzial neurowissenschaftlicher Methoden, Informationsverarbeitung*

### **Neuroscience and Research on Learning and Instruction: What Kind of Knowledge Contributes to Educational Outcome?**

#### **Abstract**

*Strictly speaking, results from neuroscience can neither inform educational practice nor can they tell how to design learning environments. Brain imaging methods do not allow drawing conclusions on individual differences in knowledge representation and on appropriate information presentation. However, a future potential of brain imaging is the uncovering of differences in information processing that do not become apparent in behavior.*

*Keywords: neuroscience and learning, potential of brain imaging, information processing*

## 1. Einleitung

Dank der Fortschritte auf dem Gebiet der Neurowissenschaften können wir heute geistige Prozesse wie Lernen nicht nur auf der Verhaltensebene beobachten, sondern parallel dazu auch Aktivitäten im Gehirn verfolgen. So können uns bildgebende Verfahren 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. Beispielsweise haben Einsichten in die Gehirnfunktionen von Schülern und Schülerinnen mit Lese-Rechtschreibschwäche (Dyslexie) dazu beigetragen, verständlich zu machen, aus welchen Gründen normale Unterrichtsmethoden in manchen Fällen erfolglos bleiben (vgl. Goswami 2004). Die Entdeckung solcher durch das Gehirn bedingten 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.

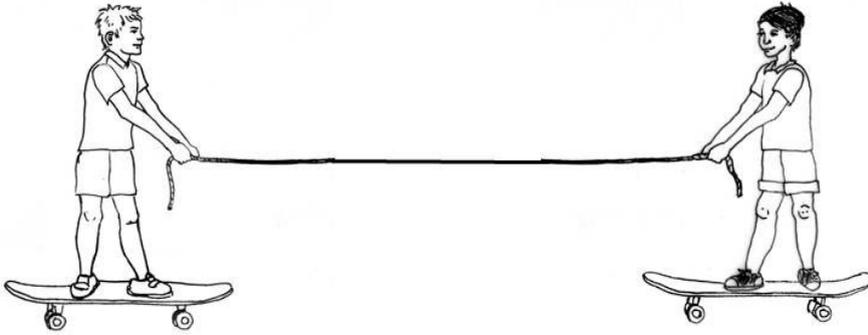
Während einige Autoren und Autorinnen Leitideen dafür skizziert haben, wie sich pädagogische, psychologische und neurowissenschaftliche Forschungen zum menschlichen Lernen integrieren ließen (vgl. Ansari/De Smed/Grabner 2012; Blake-more/Frith 2006), haben andere vor unrealistischen Erwartungen an die Neurowissenschaften gewarnt (vgl. Bruer 1997; Schumacher 2007; Stern/Grabner/Schumacher 2005) und auf die Gefahr hingewiesen, dass dabei die weitaus besser ausgearbeiteten Theorien zur Verbesserung schulischen Lernens der psychologischen Lehr- und Lernforschung ignoriert werden (vgl. Stern 2005). In diesem Aufsatz wird erklärt, warum die Neurowissenschaften keine Bedeutung für die Gestaltung schulischer Lerngelegenheiten haben – und worin ihr eigentlicher Beitrag zum Verständnis menschlichen Lernens besteht.

## 2. Welches Wissen benötigen Lehrpersonen, um guten Unterricht zu erteilen?

Angenommen, eine Lehrperson hat den Schülerinnen und Schülern im Physikunterricht das zweite Newtonsche Gesetz erklärt, wonach es zu jeder Kraft eine gleich große Reaktionskraft gibt, die in entgegengesetzter Richtung wirkt. Die Lehrperson stellt den Schülerinnen und Schülern im Anschluss an ihre Erläuterungen die folgende Aufgabe:

Abb. 1: Aufgabe zum zweiten Newtonschen Gesetz

Zwei Skateboard-Fahrer mit gleichem Gewicht stehen sich je auf einem Skateboard gegenüber und sind mit einem gespannten Seil verbunden. Der Linke zieht aktiv am Seil, der Rechte hält es nur fest. Was passiert?



Quelle: MINT-Lernzentrum der ETH Zürich

Diejenigen Schülerinnen und Schüler, die das zweite Newtonsche Gesetz verstanden haben und auf neue Situationen anwenden können, werden die richtige Antwort geben, dass sich beide Skateboard-Fahrer gleich schnell zur anfänglichen Mitte bewegen. Hingegen werden andere, die glauben, dass nur der aktiv ziehende linke Skateboard-Fahrer eine Kraft ausübt, antworten, der Linke würde stehenbleiben und der Rechte auf ihn zu rollen. Damit stellt sich die Frage, was Lehrpersonen wissen müssen, um nach Möglichkeit *allen* Schülerinnen und Schülern diesen physikalischen Zusammenhang verständlich zu machen. Woran liegt es, dass die einen etwas verstehen und die anderen nicht?

Eine wichtige Rolle bei der Erklärung und Vorhersage von Leistungsunterschieden beim schulischen Lernen spielt neben der Intelligenz das Vorwissen der Lernenden in den jeweiligen Inhaltsbereichen. Zu diesem Vorwissen gehören zum einen Vorstellungen, die mit den wissenschaftlichen Inhalten verträglich sind und an die man daher im Unterricht anschließen kann. Dazu gehört zum Beispiel die Vorstellung, dass Kräfte eine Richtung, einen Ansatzpunkt und einen Betrag besitzen. Diese Kenntnisse werden als *anschlussfähige Schülervorstellungen* bezeichnet. Zum anderen zählen zum Vorwissen aber auch Vorstellungen, die mit den wissenschaftlichen Inhalten unverträglich sind und daher zu Verständnisschwierigkeiten führen können. Dazu gehört beispielsweise die Vorstellung, dass Kräfte nur dann wirken, wenn Lebewesen aktiv Bewegungen ausführen. Solche Vorstellungen werden als *Fehlvorstellungen* bzw. als *nichtanschlussfähige Schülervorstellungen* bezeichnet. Um den Unterricht optimal auf den Kenntnisstand der Lernenden abzustimmen, müssen Lehrpersonen also wissen, welche anschlussfähigen und nichtanschlussfähigen

Vorstellungen bei den Schülerinnen und Schülern vorliegen. Dieses Vorwissen lässt sich mit geeigneten Tests, wie sie zum Beispiel vom MINT-Lernzentrum der ETH Zürich entwickelt werden, vor dem Unterricht erheben.<sup>1</sup>

Damit das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler im Unterricht gezielt genutzt werden kann, müssen Lehrpersonen zudem wissen, welche Lernformen sich besonders eignen, um das Gelernte zu vertiefen oder um vorliegenden Fehlvorstellungen entgegenzuwirken. Eine Lernform, die sich in zahlreichen Vergleichsstudien als besonders wirksam herausgestellt hat, besteht darin, die Lernenden mit inhaltlich genau abgestimmten Aufträgen dazu aufzufordern, Erklärungen zu bilden. Zur Vertiefung des Gelernten kann ihnen beispielsweise der Auftrag gegeben werden darzustellen, wie sie das zweite Newtonsche Gesetz einem Mitschüler oder einer Mitschülerin erklären würden, der bzw. die die betreffende Lektion verpasst hat. Sie müssen sich dabei also genau überlegen, welche Voraussetzungen sie ihrem Mitschüler bzw. ihrer Mitschülerin zunächst erklären müssen und welche Punkte für das Verständnis dieses Naturgesetzes besonders wichtig sind. Der oben genannten Fehlvorstellung lässt sich wiederum entgegenwirken, indem die Lernenden aufgefordert werden zu erklären, was genau an der Vorstellung falsch ist, Kräfte würden nur dann wirken, wenn aktiv Bewegungen ausgeführt werden – und durch welche Fälle diese Vorstellung widerlegt werden kann. Auf diese Weise machen sie sich diese Fehlvorstellung noch einmal besonders bewusst.

Wenn es um die Erklärung von Leistungsunterschieden beim schulischen Lernen geht, dann geht es um Leistungsunterschiede zwischen gesunden Personen mit einer Intelligenz im normalen Bereich. Es ist wichtig, dies zu beachten, denn häufig wird von neurowissenschaftlichen Untersuchungen, die sich mit Unterschieden zwischen gesunden Personen und Personen mit pathologischen Störungen wie der Lese- und Rechtschreibschwäche (Dyslexie) oder der Rechenschwäche (Dyskalkulie) befassen, fälschlich darauf geschlossen, sie könnten automatisch auch Leistungsunterschiede zwischen gesunden Personen erklären. Für Leistungsunterschiede zwischen gesunden Personen sind aber neben Unterschieden in der Intelligenz vor allem Unterschiede im Vorwissen verantwortlich. Um guten Unterricht zu machen, müssen Lehrpersonen daher das Vorwissen der Lernenden kennen, und sie müssen wissen, welche Lernformen sich besonders eignen, um Fehlvorstellungen entgegenzuwirken sowie das Wissen zu vertiefen.

---

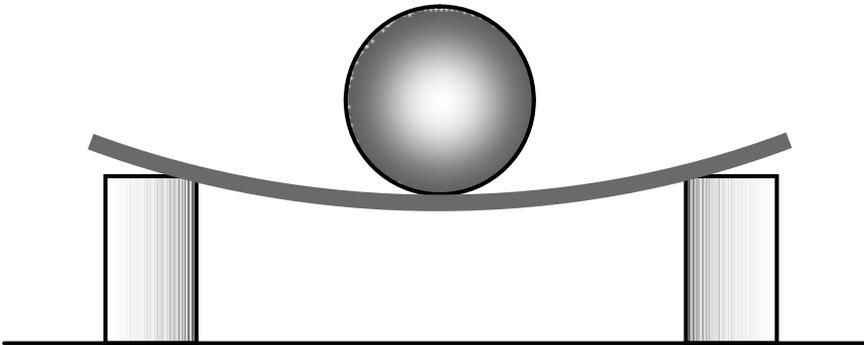
1 Näheres dazu kann unter URL: <http://www.educ.ethz.ch/mint>, nachgelesen werden.

### 3. Welche Forschungsrichtung stellt dieses unterrichtsrelevante Wissen bereit?

Das für die Unterrichtsgestaltung relevante Wissen über das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler sowie über wirksame Lernformen stellt nicht der Blick ins Hirn, sondern die empirische Lehr- und Lernforschung bereit. Schülervorstellungen werden erhoben, indem man die Kinder bzw. Jugendlichen Fragen wie die folgende bearbeitet lässt:

Abb. 2: Fragen zur Ermittlung des Vorwissens von Schülerinnen und Schülern

*Eine Kugel liegt auf einem elastischen Brett. Welche der folgenden Aussagen treffen zu?*



- *Da die Kugel in Ruhe ist, wirken hier überhaupt keine Kräfte.*
- *Auf die Kugel wirkt nur die Stützkraft des gespannten Bretts, sonst würde sie herunterfallen.*
- *Auf die Kugel wirkt nur die Anziehungskraft der Erde, da sich das Brett durchbiegt.*
- *Das Brett stützt die Kugel ab und wirkt deshalb mit einer nach oben gerichteten Kraft auf die Kugel.*

Quelle: MINT-Lernzentrum der ETH Zürich

Mit Fragen wie diesen lässt sich herausfinden, ob die Lernenden bereits über bestimmte Kenntnisse verfügen oder ob sie noch Vorstellungen haben, die nicht anschlussfähig sind und damit zu Verständnisschwierigkeiten führen können. Solche Testfragen eignen sich ebenfalls, um im Anschluss an den Unterricht festzustellen, ob etwas gelernt bzw. richtig verstanden wurde. Denn Lernen zeigt sich im Bewältigen von Anforderungen: Wenn die Schülerinnen und Schüler im Unterricht etwas dazu gelernt haben, dann zeigt sich das darin, dass sie nach dem Unterricht Aufgaben lösen können, die sie vor dem Unterricht noch nicht bewältigen konnten.

Hingegen lässt sich mit dem Blick ins Hirn nicht feststellen, ob etwas richtig gelernt wurde. Denn grundsätzlich gehen *alle* Lernprozesse – auch wenn etwas Falsches gelernt wurde – mit funktionellen oder strukturellen Veränderungen im Gehirn einher, so dass allein von dem Vorliegen neuronaler Veränderungen nicht darauf geschlossen werden kann, dass jemand etwas richtig verstanden hat. Die Beobachtung, dass sich im Gehirn neue Verbindungen von Nervenzellen gebildet haben, ist deshalb *unterbestimmt* in Bezug auf die Frage, ob das Richtige gelernt wurde. Deshalb gilt: Ganz unabhängig vom technischen Fortschritt in den bildgebenden Verfahren der Hirnforschung werden die bunten Bilder niemals die Erhebung von Wissen und Verhalten ersetzen können. Befragungen und Beobachtungen des Verhaltens haben also klare Priorität vor der Beobachtung von Vorgängen im Gehirn: Erst wenn man über das Bewältigen von Anforderungen in Testsituationen festgestellt hat, dass jemand etwas verstanden hat, kann anschließend mit den Methoden der Neurowissenschaften untersucht werden, welche Veränderungen im Gehirn mit diesen Lernprozessen einhergehen. Aber auch wenn man wissenschaftlich abgesicherte Zusammenhänge zwischen Lernprozessen und bestimmten Veränderungen im Gehirn gefunden hat, bleiben Befragung und Beobachtung weiterhin die einzigen sicheren Mittel, um festzustellen, ob etwas richtig gelernt bzw. verstanden wurde.

Auch die Wirksamkeit verschiedener Lernformen kann nur im Rahmen der empirischen Lehr- und Lernforschung untersucht werden. Dazu müssen Vergleichsstudien mit mehreren Gruppen durchgeführt werden, die unter verschiedenen Bedingungen bzw. mit verschiedenen Lernformen unterrichtet werden. Bei solchen Vergleichsstudien ist es natürlich zentral, zunächst mithilfe geeigneter Vortests sicherzustellen, dass das Ausgangsniveau der verschiedenen Gruppen vergleichbar ist. Dazu werden zum Beispiel Wissenstests mit Fragen wie den oben dargestellten verwendet. Anschließend werden den verschiedenen Gruppen dieselben Inhalte in unterschiedlichen Lernumgebungen bzw. mit verschiedenen Lernformen präsentiert. Zum Beispiel werden die einen aufgefordert, eine Zusammenfassung zu schreiben, während die anderen den Auftrag erhalten, Erklärungen zu geben oder genau aufzuschreiben, was sie im Einzelnen noch nicht verstanden haben. Nach Abschluss dieser Interventionen wird mithilfe von Nachtests geprüft, wie viel die Versuchsteilnehmer unter den verschiedenen Bedingungen gelernt haben – und ob sich zwischen den verschiedenen Gruppen statistisch bedeutsame Unterschiede feststellen lassen. Wenn sich gezeigt hat, dass – bei vergleichbaren Ausgangsvoraussetzungen und gleichem Zeitaufwand – eine Gruppe deutlich mehr gelernt hat als die übrigen Gruppen, dann kann behauptet werden, dass die betreffende Lernform wirksamer ist als die anderen.

Hingegen lassen sich solche Aussagen auf der Grundlage der Beobachtung des Gehirns nicht machen. Denn aus dem Umfang oder der Art der Veränderung von Nervenverbindungen im Gehirn lässt sich nicht ablesen, welche Lernform im Vergleich mit anderen Lernformen am besten geeignet ist, um Individuen auf die Bewältigung von Anforderungen vorzubereiten. Zum Beispiel ist es nicht so, dass be-

sonders viele Veränderungen bei der Bildung von Nervenzellen darauf hinweisen, dass besonders viel gelernt wurde. Vielmehr ist der Umfang der Veränderung und Aktivierung von Hirnarealen davon abhängig, über wie viel Routine und Expertise die betreffenden Personen verfügen. Ob sich also bei einer bestimmten Lernform besonders viele oder besonders wenige Veränderungen bei der Bildung von Nervenzellen im Gehirn zeigen, hat folglich keine Bedeutung dafür, ob viel oder wenig gelernt wurde. Der Blick ins Hirn ist also auch in dieser Hinsicht *unterbestimmt*.

Wie kommt diese Unterbestimmtheit zustande? Sie entsteht dadurch, dass die Lehr- und Lernforschung und die Neurowissenschaften unterschiedliche Phänomene auf verschiedenen theoretischen Ebenen erklären. Gegenstand der Lehr- und Lernforschung ist das Verhalten von Personen. Unterschiede im Verhalten wie Leistungsunterschiede werden beispielsweise mit Unterschieden im Wissen oder in der Intelligenz erklärt. Gegenstand der Neurowissenschaften sind Vorgänge im menschlichen Gehirn. Diese Vorgänge werden biologisch bzw. chemisch erklärt. Es ist zwar grundsätzlich möglich, geistigen Zuständen bestimmte Hirnzustände zuzuordnen, mit denen sie im Allgemeinen gemeinsam auftreten. Aber solche Zuordnungen sind aufgrund der individuellen Unterschiede niemals eindeutig. Denn jedes Gehirn ist aufgrund der Lerngeschichte der betreffenden Person anders. Dadurch kommt die oben dargestellte Unterbestimmtheit zustande: Auch wenn ich einen bestimmten Hirnzustand identifizieren kann, kann ich damit noch nicht mit Sicherheit sagen, in welchem geistigen Zustand sich die betreffende Person befindet – ob sie zum Beispiel das zweite Newtonsche Gesetz verstanden hat. Vielmehr kann ich das nur herausfinden, indem ich ihr Verhalten untersuche und prüfe, ob sie in der Lage ist, bestimmte Anforderungen zu bewältigen.

Erklärungen für ausbleibende Lernzuwächse, die auf Vorgänge im Gehirn abzielen (z.B.: „Es wurde nicht genügend Dopamin ausgeschüttet“, oder: „Der linke Parietallappen war nicht aktiviert“), können grundsätzlich nichts zur Steigerung der Lernwirksamkeit von Unterricht beitragen. Selbst wenn die physiologischen Indikatoren zuverlässig messbar sind (was zum jetzigen Stand der Forschung nur selten der Fall ist), kann die Lehrkraft daraus keine Handlungen ableiten. Stellen wir uns eine Expertenkommission vor, die die Ursachen für einen Flugzeugabsturz herausfinden soll und die nach wochenlanger, kostenintensiver Recherche zu dem Ergebnis kommt: „Es war die Gravitationskraft, die den Absturz auslöste“. Das ist zwar aus Sicht der Physik korrekt, aber es erklärt nicht, warum nur das besagte und nicht alle anderen Flugzeuge abgestürzt sind. Statt sich auf allgemeine Gesetze der Physik zu konzentrieren, wird die Kommission nach Konstruktionsmängeln und Fehlfunktionen bei dem speziellen Flugzeug suchen, die dazu führten, dass zum Zeitpunkt des Absturzes die Auftriebskräfte nicht größer als die Gravitationskraft waren. Parallel dazu muss die Lehrkraft herausfinden, warum es nicht zur Passung zwischen ihrem Input und dem Vorwissen der Lernenden gekommen ist.

#### **4. Haben neurowissenschaftliche Untersuchungen zu diesem unterrichtsrelevanten Wissen etwas beigetragen?**

Auch wenn in der Wissenschaft Geist und Gehirn noch getrennt betrachtet werden müssen, weil die Gesetzmäßigkeiten, nach denen sie zusammenwirken, noch gänzlich unbekannt sind, können beide Perspektiven voneinander profitieren. Es könnte sich immerhin zeigen, dass Erkenntnisse über das Gehirn gewonnen werden, welche psychologische Theorien über den Geist in Frage stellen. So wurden vor wenigen Jahrzehnten noch psychische Krankheiten wie Schizophrenie oder Autismus auf frühkindliche Störungen der Mutter-Kind-Beziehung zurückgeführt. Das klingt aus heutiger Sicht absurd: Wir kennen die internen Störungen der Hirnfunktionen bei diesen Krankheiten recht gut und wissen, dass sie sich weder durch Umwelteinflüsse auslösen noch heilen lassen. In der klinischen Psychologie musste man als Ergebnis der Hirnforschung Theorien und Hypothesen aufgeben. Wie aber sieht es in der Lehr- und Lernforschung aus? Zwingen uns Erkenntnisse aus der Hirnforschung zu neuen Sichtweisen des schulischen Lernens? In der Expertise von Stern, Grabner und Schumacher (2005) wurde gezeigt: Keine Einsicht der Lehr- und Lernforschung zur Unterrichtsgestaltung musste aufgrund von Ergebnissen der Neurowissenschaften revidiert werden. Psychologische Theorien zum Konzeptwechsel, zur Motivation, zur grafisch-visuellen Wissensrepräsentation können recht präzise Bedingungen für lernwirksamen Unterricht aufzeigen (mehr dazu bei Felten und Stern 2012).

Eigenständige neurowissenschaftliche Forschungsergebnisse, die zur Revision von Empfehlungen der Lehr- und Lernforschung zur Unterrichtsgestaltung geführt haben, lagen bis zum Jahre 2005 nicht vor (vgl. Stern/Grabner/Schumacher 2005). Aber hat sich in der Zwischenzeit der Forschungsstand vielleicht so verändert, dass die damaligen Schlussfolgerungen nicht mehr zutreffen?

Einen aktuellen Überblick über die neurowissenschaftliche Forschung in diesem Bereich bietet der 2012 veröffentlichte Aufsatz „Neuroeducation – A Critical Overview of An Emerging Field“ von Daniel Ansari, Bert De Smedt und Roland Grabner (2012). Die Autoren weisen gleich zu Anfang einschränkend darauf hin, dass sich die in diesem Bereich vorliegenden neurowissenschaftlichen Untersuchungen *nicht* mit der Erklärung von Leistungsunterschieden zwischen gesunden Personen befassen. Stattdessen beschäftigen sie sich mit pathologischen Phänomenen – insbesondere mit Dyslexie und Dyskalkulie. Es geht dabei also darum, Leistungsunterschiede zwischen gesunden Personen und Personen mit bestimmten Leistungsstörungen zu erklären. Da sich diese Untersuchungen nicht mit Leistungsunterschieden zwischen gesunden Personen befassen, können sie folglich auch nicht erklären, warum zum Beispiel einige Schülerinnen und Schüler die eingangs dargestellte Mechanikaufgabe lösen können und andere nicht. Der Forschungsstand hat sich in den letzten fünf Jahren also *nicht* so stark verändert, dass sich nun behaupten ließe,

die Neurowissenschaften würden eigenständige Vorschläge zur Gestaltung schulischer Lerngelegenheiten aufstellen.

Ein denkbarer Einwand könnte nun folgendermaßen lauten: „Aber die Neurowissenschaften bestätigen doch Vieles, was die Lehr- und Lernforschung sagt. Und indem sie dies tun, leisten sie doch auch einen wichtigen Beitrag zur Gestaltung des Schulunterrichts. Beispielsweise bestätigen sie, dass Personen mit höherer Lernmotivation besser lernen als Personen mit niedrigerer Lernmotivation.“ Dieser Einwand lässt sich mit zwei Überlegungen zurückweisen:

Erstens werden vielfach Ergebnisse der Verhaltensforschung, zu der auch die Lehr- und Lernforschung zählt, als Resultate der Neurowissenschaften ausgegeben. Das trifft auch auf das dargestellte Beispiel zu: Um diese Behauptung begründen zu können, muss man nämlich zunächst Unterschiede in der Lernmotivation erheben, indem Personen mit geeigneten Tests befragt werden. Anschließend muss verglichen werden, wie sich diese Motivationsunterschiede auf Leistungen beim Lernen auswirken. Auch dies geschieht wiederum mit entsprechenden Tests, mit denen geprüft wird, wie Personen unterschiedliche Anforderungen bewältigen. Damit wird deutlich, dass diese Behauptung nur durch die Untersuchung des Verhaltens von Personen gestützt werden kann. Hingegen trägt die Untersuchung von Gehirnzuständen zu dieser Einsicht nichts bei.

Zweitens werden vielfach Erkenntnisse der Lehr- und Lernforschung mit unpassenden oder viel zu allgemeinen Befunden der Neurowissenschaften unterfüttert. In diesem Fall wird also das Richtige mit den falschen Gründen gestützt. Um das obige Beispiel noch einmal aufzugreifen: Das ist so, als würde man auf die Frage: „Warum ist dieses Flugzeug abgestürzt?“, antworten: „Wegen der Schwerkraft.“ Diese Antwort ist natürlich viel zu allgemein, denn es interessiert einen ja gerade, warum manche Flugzeuge in der Luft bleiben – und manche nicht.

Ein häufiger Einwand von Anhängern und Anhängerinnen der neurowissenschaftlichen Perspektive ist, dass erst die Hirnforschung die Bedeutung der Emotionen für das Lernen erkannt habe und dass man erst seitdem wisse, dass Angst ein schlechter Ratgeber beim schulischen Lernen sei. Dieses Argument entbehrt allerdings jeglicher Grundlage und ist wohl auf die Tatsache zurückzuführen, dass viele Kinder mit Schulangst bei Medizinerinnen landen. Wir können derzeit selbst mit Hilfe der besten Hirnscannings nicht zwischen verschiedenen Emotionen unterscheiden. Wir wissen also durch den Blick ins Hirn nicht, ob jemand gerade traurig oder fröhlich ist. Und die Rolle der Angst beim Lernen wurde bereits zu Zeiten geklärt, als der Behaviorismus noch die Psychologie dominierte. Angst kommt auf, wenn negative Konsequenzen, also Strafreize zu erwarten sind, und diesen kann man nur durch Flucht oder Vermeidung entgehen. Durch das Verabreichen von Strafen kann man also erreichen, dass ein Individuum ein unerwünschtes Verhalten unterlässt. Möchte

man hingegen Verhalten aufbauen, müssen positive Konsequenzen erlebt werden. Eltern und Lehrpersonen könnten sich manches Ärgernis ersparen, wenn sie Straf- und Belohnungsreize gezielter einsetzen würden. Ziel der Schule ist es, Verhalten und Kompetenzen aufzubauen, die nicht spontan erworben werden. Dies kann nur gelingen, wenn die Lernenden mit dem Verhalten positive Erlebnisse verbinden. Dazu gehört Kompetenzerleben, also die Bewältigung einer Anforderung. Aus der Tatsache, dass Lehrpersonen und Eltern eine lange bekannte Einsicht – nämlich dass man durch Strafen Verhalten ab-, aber nicht aufbauen kann – nicht konsequent nutzen, lässt sich also keineswegs ableiten, dass Neurowissenschaften zu neuen pädagogischen Einsichten geführt haben bzw. führen können.

## **5. Worin liegen die Stärken neurowissenschaftlicher Untersuchungen in Bezug auf das Verständnis menschlichen Lernens?**

Daraus, dass die Neurowissenschaften keine Bedeutung für die Gestaltung schulischer Lerngelegenheiten haben, folgt selbstverständlich nicht, dass sie keinen Beitrag zum Verständnis menschlichen Lernens leisten können. Das wäre ein Fehlschluss. 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 entwicklungspezifische kognitive Defizite*

Neurowissenschaftliche Untersuchungen können Erklärungen für entwicklungspezifische 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 solche 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 (vgl. Simos u.a. 2002). Da die Aktivierung in dieser Hirnregion mit besserer Lesefähigkeit zunimmt, lässt sich Dyslexie also mit einer verminderten Hirntätigkeit in diesem Bereich erklären.

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 (vgl. 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 kognitionswissenschaftlichen 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). Auch im so genannten Normalbereich könnten sich hier interessante Entwicklungen ergeben. Ganz aktuell ist ein Artikel von Immordino-Yang, Christodoulou und Singh (2012) zu nennen, in dem gezeigt wird, dass sich verschiedene Zustände der Aufmerksamkeit im Gehirn identifizieren lassen, die Unterschiede im Lernzuwachs erklären können.

*Das Trainieren von Vorläuferfähigkeiten*

Neurowissenschaftliche Untersuchungen haben ferner gezeigt, dass bestimmte Hirnareale, die später bei Erwachsenen wichtige Funktionen für das Rechnen übernehmen, bei Kindern besonders aktiviert werden, wenn sie ihre Finger abzählen (vgl. 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 Längsschnittstudien – 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 Rechenleistung 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.

## 6. Fazit

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. Für die Frage, was uns Menschen in die Lage versetzt, die komplexen Anforderungen, die unsere Umwelt an uns stellt, zu bewältigen, müssen wir die Unterscheidung zwischen Gehirn und Geist beibehalten. Mediziner setzen sich mit der Frage auseinander, ob und wie ein nicht optimal funktionierendes Gehirn medikamentös optimiert werden kann. Lehrerinnen und Lehrer hingegen müssen sich mit dem menschlichen Geist und vor allem dem darin gespeicherten Wissen auseinandersetzen. Die Auseinandersetzung mit der Hirnforschung ist zweifelsohne interessant, aber nicht erforderlich für die Gestaltung optimaler Lerngelegenheiten.

## Literatur

- Ansari, D./De Smedt, B./Grabner, R. (2012): Neuroeducation – A Critical Overview of An Emerging Field. In: *Neuroethics* 2, H. 5, S. 105-117.
- Blakemore, S./Frith, U. (2006): *Wie wir lernen. Was die Hirnforschung darüber weiß.* München: DVA.
- Bruer, J. (1997): Education and the Brain: A Bridge Too Far. In: *Educational Researcher* 26, H. 8, S. 4-16.
- Dehaene, S. (1997): *The Number Sense.* New York: Oxford University Press.
- DeLoache, J./Uttat, D./Rosengreen, K. (2004): Scale Errors Offer Evidence for a Perception-Action Dissociation Early in Life. In: *Science* 304, H. 5673, S. 1027-1029.
- Felten, M./Stern, E. (2012): *Lernwirksam unterrichten.* Berlin: Cornelsen.
- Goswami, U. (2004): Neuroscience and Education. In: *British Journal of Educational Psychology*, H. 74, S. 1-14.
- Immordino-Yang, M./Christodoulou, A./Singh, V. (2012): Rest Is Not Idleness: Implications of the Brain's Default Mode for Human Development and Education. In: *Perspectives on Psychological Science*, H. 7, S. 352-364.
- Schumacher, R. (2007): The Brain Is Not Enough. Potentials and Limits in Integrating Neuroscience and Pedagogy. In: *Analyse und Kritik* 2, H. 1, S. 38-46.
- Simos, P./Fletcher, J./Bergman, M. (2002): Dyslexia-specific Brain Activation Profile Becomes Normal Following Successful Remedial Training. In: *Neurology* 58, H. 8, S. 1203-1213.
- Stern, E. (2005): Pedagogy Meets Neuroscience. In: *Science* 310, H. 5749, S. 745.

| Ralph Schumacher/Elsbeth Stern

Stern, E./Grabner, R./Schumacher, R. (2005): Lehr-Lern-Forschung und Neurowissenschaften: Erwartungen, Befunde und Forschungsperspektiven. Reihe Bildungsreform, Band 13. Berlin: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF).

*Ralph Schumacher*, Dr., geb. 1964, Leiter des MINT-Lernzentrums an der ETH Zürich.

Anschrift: ETH Zürich, MINT-Lernzentrum, Clausiusstrasse 59, 8092 Zürich, Schweiz  
E-Mail: ralph.schumacher@ifv.gess.ethz.ch

*Elsbeth Stern*, Prof. Dr., geb. 1957, Professorin für Lehr- und Lernforschung an der ETH Zürich.

Anschrift: ETH Zürich, Institut für Verhaltenswissenschaften, Universitätstrasse 6, 8092 Zürich, Schweiz  
E-Mail: elsbeth.stern@ifv.gess.ethz.ch

**Z**iel des Buches ist es, Studierenden der Bildungswissenschaften und praktizierenden Lehrpersonen einen Zugang zu evidenzbasiertem Wissen zu eröffnen. Dies geschieht auf der Grundlage einer interdisziplinären Sicht auf die Frage nach Effektivität und Effizienz von Bildung. Insbesondere die bildungsökonomische, die psychologische und die erziehungswissenschaftliche Perspektive, aber auch die fachdidaktische Sicht werden exemplarisch behandelt. Das Fazit lautet: Bildung kann sehr effektiv sein, man muss aber genau hinschauen, wie sie funktioniert.



Karl-Oswald Bauer,  
Niels Logemann (Hrsg.)

### Effektive Bildung

Zur Wirksamkeit und Effizienz  
pädagogischer Prozesse

2012, 204 Seiten, br., 26,90 €  
ISBN 978-3-8309-2680-1



**WAXMANN**  
Münster · New York · München · Berlin