

Schirp, Heinz

Neurowissenschaften und Lernen. Was können neurobiologische Forschungsergebnisse zur Unterrichtsgestaltung beitragen?

Die Deutsche Schule 95 (2003) 3, S. 304-316



Quellenangabe/ Reference:

Schirp, Heinz: Neurowissenschaften und Lernen. Was können neurobiologische Forschungsergebnisse zur Unterrichtsgestaltung beitragen? - In: Die Deutsche Schule 95 (2003) 3, S. 304-316 - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-274663 - DOI: 10.25656/01:27466

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-274663>

<https://doi.org/10.25656/01:27466>

Nutzungsbedingungen

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document.

This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Kontakt / Contact:

peDOCS
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung
E-Mail: pedocs@dipf.de
Internet: www.pedocs.de

Digitalisiert

Mitglied der


Leibniz-Gemeinschaft

Heinz Schirp

Neurowissenschaften und Lernen

Was können neurobiologische Forschungsergebnisse zur Unterrichtsgestaltung beitragen?

*„Wenn das Gehirn so einfach wäre,
dass wir es verstehen könnten
wären wir so einfach,
dass wir es nicht verstehen könnten.“
(Emerson Pugh Trost)*

Die neunziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts sind als „*decade of the brain*“ apostrophiert worden, als das Jahrzehnt des Gehirns. Neue, computer-gestützte, bildgebende Verfahren von Kernspin-, Positronenemissions- und Magnetresonanztomographie haben es den Gehirnforschern ermöglicht, neuronale Aktivitäten und die unglaublich komplizierten Funktionsweisen unserer neuronalen Netze genauer zu beobachten. Damit gelingt sozusagen ein tieferer Blick in das „neuronale Universum“ in unserem Kopf.

Wenn man sich anschaut, wie intensiv in den vergangenen Jahren Zeitschriften, Journale und Wissenschaftssendungen im Fernsehen sich des Themas Gehirn und Gehirnforschung angenommen haben, könnte man auf den Gedanken kommen, wir befänden uns jetzt in einer Phase der intensiven Rezeption neurobiologischer Forschungsergebnisse, aus denen sich auch neue Zugänge für Schule und Unterricht entwickeln ließen. Erstaunlicherweise ist dies nicht so. Außer einigen punktuellen Versuchen gibt es nur einige wenige systematische Initiativen, Ergebnisse der Kognitions- und Lernwissenschaften in professionsbezogene Wissens- und Handlungsmodelle von Lehrerinnen und Lehrern zu überführen. Das mag nicht zuletzt daran liegen, dass bei Erziehungswissenschaftlern und Pädagogen zwei Wahrnehmungsmuster zu beobachten sind, die einer sinnvollen Rezeption neurobiologischer Ergebnisse doch eher entgegen stehen. Die einen argumentieren, dass man eigentlich noch nicht wirklich etwas Gesichertes und Endgültiges über unsere Gehirnfunktionen weiß und dass es sich deswegen auch verbiete, aus den vorliegenden lernbiologischen Forschungsergebnissen Gestaltungshinweise für Lehr- und Lernprozesse herzuleiten; die anderen verweisen darauf, dass alles, was an Neuro-Ergebnissen auf Lernen sich beziehen lässt, eh' nur das bestätigt, was man schon längst über guten Unterricht weiß. In jeder dieser beiden Positionen steckt ein Wahrheitskern. Auch und gerade angesichts neuer Ergebnisse in der Gehirnforschung weisen Neurophysiologen immer wieder darauf hin, dass wir bei dem Versuch, unser Gehirn zu verstehen, noch ziemlich am Anfang stehen. Und das, was es an verwendbaren Ergebnissen gibt, bestätigt in der Tat weitgehend die Vorstellungen, *die viele Pädagogen auch schon bisher von gutem Unterricht gehabt haben*. Nichts desto weniger und bei aller Einschränkung, was den Stand der Neuro-Forschung betrifft: die Befunde der Neurowissenschaften können

dabei helfen darüber nachzudenken, ob und wie Lehr- und Lernprozesse verbessert werden können. Der Grundgedanke dahinter lautet jedenfalls: Lehrer und Lehrerinnen die Zugangs- und Verarbeitungsweisen unseres Gehirns verstehen, sind eher in der Lage, „gehirn-affine“ und damit „lernerfreundliche“ Lehr- und Lernprozesse zu gestalten. In anderen Ländern gibt es durchaus schon solche Ansätze von „brain friendly learning“. (Fletcher 2000)

An dieser Stelle sollen und können nur einige wenige Ergebnisse der Neurobiologie und der Gehirnforschung skizziert werden, und eben auch nur solche, die für die Weiterentwicklung unterrichtlicher Lehr- und Lernprozesse offensichtlich von Bedeutung sind. Auf drei Bereiche soll eingegangen werden:

- Muster und Mustererkennung
- Sinn, Relevanz und Bedeutung
- Emotion und Kognition

1. Muster und Mustererkennung

*„Gesagt ist noch nicht gehört,
gehört ist noch nicht verstanden,
verstanden ist noch nicht einverstanden,
einverstanden ist noch nicht getan,
geman ist noch nicht beibehalten.“*

Unser Gehirn hat sich im Laufe von über 50 Millionen Jahren so entwickelt und ist strukturell und funktional so angelegt, dass es Muster und Strukturen ausgebildet hat und weiterhin ausbildet, die uns helfen, uns in dieser Welt zurecht zu finden. Kernelemente solcher Mustererkennungsprozesse sind unsere Nervenzellen (Neuronen) und die daraus bestehenden neuronalen Netze. In diesen Nervenzellen und neuronalen Netzen ist, vereinfacht gesagt, letztlich alles gespeichert, was wir an Verhaltens-, Denk- und Handlungsmustern benötigen. Ca. 80 bis 100 Milliarden Neuronen, jede für sich selbst wieder mit bis zu 10000 anderen Neuronen verbunden, bilden eine Art neuronales Universum in unserem Kopf. Bei unserer Geburt sind die allermeisten Neuronen und Neuronenbahnen allerdings noch weitgehend unspezifisch und nicht strukturdeterminiert. Mit jedem Wahrnehmungs- und Verarbeitungsvorgang entstehen in den jeweils beteiligten neuronalen Strukturen Ladungsprozesse. Gleiche Inputs und Verarbeitungsprozesse führen dazu, dass auch gleiche Zellverbände angesprochen und entwickelt werden. Die Neuronen stellen sich sozusagen immer besser auf bestimmte Inputsignale ein, allerdings nur dann, wenn diese Inputsignale Regelmäßigkeiten und „Musterhaftes“ aufweisen. Wichtig dabei ist, dass nicht die Dauer eines Inputsignals entscheidend ist, sondern die Häufigkeit, mit der gleiche und ähnliche Inputs auf unsere Neuronen einwirken. Auf diese Weise beginnen sowohl einzelne Neuronen als auch neuronale Zell- und Netzwerke sich zu spezialisieren; sie werden gewissermaßen für bestimmte Signale und Muster zuständig und werden aktiv, wenn diese Muster angesprochen werden. Häufig auftretende und wahrgenommene Muster führen dabei zu ähnlichen neuronalen Mustererkennungs-Prozessen und damit zu quantitativ gehäuften Repräsentanzstellen und zu „neuronalen Landkarten“ in unserem Gehirn. Häufigere und ähnliche Inputs werden darüber hinaus auch auf einer größeren Fläche repräsentiert als etwa seltene Inputs (vgl. Spitzer 2000, S. 95 ff). Je größer die Zahl der Repräsentanzstellen bestimmter Muster und je stärker ausgeprägt ihr neuronales Potential, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass diese Mus-

ter auch wieder aktualisiert („erinnert“) und für weitere Verarbeitungsprozesse genutzt werden können. Diese Form der Musterverarbeitung und Musterspeicherung an unterschiedlichen Stellen unseres Gehirns lässt sich als eine Art „Matrix-Repräsentation“ verstehen, für die unser Gehirn selbsttätig sorgt. Dabei legt unser Gehirn Muster nicht einfach an einer bestimmten Stelle ab, sondern organisiert eine Fülle von Verbindungen zu anderen ähnlichen, affinen oder auch kontroversen Erfahrungsmustern. Auf diese Weise entstehen ganze Cluster von ähnlichen Mustern. Spezialisierte Neuronen bilden selbst wieder größere Gruppen und Verbände und über die starke Vernetzung von neuronalen Clustern neuronale Netze, die von sehr einfachen bis zu hochkomplexen Wahrnehmungsmustern alles verarbeiten, was wir zur Bewältigung unserer Lebenswirklichkeit benötigen. *Solche gespeicherten Muster sind feste Bestandteile unserer Wahrnehmung und unseres Lernens*; sie helfen beim Aufbau expliziten, abrufbaren Wissens ebenso wie bei der Entwicklung impliziter Kompetenzen. Vieles, was wir lernen, lernen wir ganz bewusst, vieles aber lernen wir auch eher unbewusst im Laufe unsrer Entwicklung. Verhaltensweisen, Gewohnheiten, unserer Einstellungen etc. haben wir ja überwiegend nicht explizit gelernt, sondern implizit, unbewusst durch Imitation oder durch Orientierung an Modellen, die wir in Familie, Schule, Umfeld vorfinden.

Unser neuronales Potenzial nimmt mit zunehmendem Alter quantitativ ab, aber es wird im Laufe unseres Lebens zunehmend strukturierter, konturierter und funktionaler. Man kann diesen Prozess mit der Anfertigung eines indianischen Totempfahles vergleichen. In einen dicken Baumstamm werden über die Jahre hinweg immer neue Linien und figurale Muster eingeschnitzt. Dabei fällt natürlich viel unbenötigtes Holzmaterial weg. Am Ende des gesamten Bearbeitungsprozesses ist dann ein hochkomplexer, konturierter mit zahlreichen Linien und Mustern übersäter, aber im Vergleich zum unbehauenen Stamm viel kleinerer Pfahl entstanden.

Die Metapher vom Schnitzen hat nach Calvin eine große Ähnlichkeit mit der neuronalen Entwicklung und Strukturierung unseres Gehirns (vgl. Calvin 1995, S.165 ff). Wie bei der Erstellung eines Totempfahles erhält auch unser Gehirn seine Konturen dadurch, dass wegfällt, was nicht gebraucht wird und nur das übrig bleibt, was an Mustern benötigt wird.

Aus diesen Erkenntnissen lassen sich einige Konsequenzen für gehirngerechtes Lernen und eine entsprechende Lerngestaltung formulieren.

(1.) Je häufiger bestimmte ähnliche Muster angeboten werden und als Signale vom Gehirn aufgenommen und verarbeitet werden, desto größer und intensiver wird die Repräsentanz dieser Muster in unserem Gedächtnis. Das verweist darauf, dass wir z.B. Übungsformen favorisieren sollten, die häufiger aber kürzer angelegt sein sollten.

(2.) Je intensiver solche Inputs auch in leichter Varianz angeboten werden, desto größer werden auch die im Gehirn entstehenden Repräsentanzflächen und damit eben auch die musterbezogene Speicherkapazität neuronaler Verbände. Für Übungsformen würde das etwa bedeuten, dass sie zusätzlich ganz gezielt leichte Variationen und Abwandlungen haben sollten, damit für den inhaltlichen Kern des Lerngegenstandes eine breitere neuronale Repräsentanzfläche sich entwickeln kann.

(3.) Regeln und Muster werden nicht als einzelne Regeln und Muster gelernt, sie werden vielmehr aus wiederkehrenden Beispielen und modellhaften Situationen extrahiert und zu Regeln und Mustern verdichtet. Natürlich kann man Regeln mechanisch auswendig lernen. Um sie aber zu verstehen, ihren Sinn und ihre Bedeutung zu internalisieren ist es wichtig, dass sich das Regelhafte als neuronales Muster durch entsprechende Beispiele und Wiederholungen aufbauen kann. Nur verstandene Regeln können langfristig auch dann noch sinnvoll angewendet werden, wenn die Aufgabenstellung z.B. leicht variiert und die formal gelernte nicht mehr passt.

(4.) Wenn ein Lerngegenstand mehrere spezifische Muster, also unterschiedliche aber aufeinander bezogene Inputmuster aufweist (z.B. fachbezogene, alltagsnahe, sozial-kooperative, emotionale ...), dann führt auch dies zu einer Ausweitung neuronaler Repräsentanz. Der Lerngegenstand wird dadurch nämlich mit eben diesen seinen unterschiedlichen Mustern (Aspekten, Attributen, Assoziationen ...) wahrgenommen und in entsprechende Gedächtnisstrukturen überführt. Da der Lerngegenstand so mit seinen unterschiedlichen Aspekten auch an unterschiedlichen Stellen unseres Gehirns neuronale Repräsentationen aufweist, ist er leichter und über unterschiedliche Zugänge wieder zu erinnern. Für Verstehens- und Übungsprozesse bedeutet dies, dass es hilfreich ist, Lerngegenstände in unterschiedliche Kontexte zu stellen (Situiertheit) und diese Kontexte auch dadurch bewusst zu machen, dass sie beim Üben, bei systematischen Erinnerungsprozessen, beim Anwenden wieder präsent gemacht werden.

(5.) Neuronale Muster bauen häufig aufeinander auf, bilden gewissermaßen Abfolgen von einfachen zu komplexer werdenden Mustern. Im Prozess des Verstehens durchlaufen wir unterschiedliche Prozesse der Mustererkennung, die von einfachen akustischen oder optischen Wahrnehmungen bis zu dauerhaften Verhaltensänderungen reichen. Es ist wichtig, sich diese Abfolgen und Hierarchien bewusst zu machen und sie bei der Gestaltung von Lernprozessen zu berücksichtigen. Das Zitat, das dieses Kapitel einleitet, weist nachdrücklich darauf hin, dass wir z.B. nicht schon deswegen etwas verstanden haben, weil wir etwa einen Vortrag gehört oder einen Text gelesen haben. Hören, Verstehen, Akzeptieren und entsprechendes Handeln sind jeweils eigenständige Muster. Sie entstehen nicht quasi automatisch, sondern müssen, jedes einzelne Muster für sich, als eigenständiger Prozess angesehen und im Lerngeschehen entsprechend verankert werden. Die Übergänge zu den jeweils komplexeren Mustern müssen ebenfalls intensiv eingeübt werden, damit die nächst höhere und komplexere Leistung überhaupt erbracht werden kann. Das beginnt dann etwa bei systematisch geübten Formen der Informations- und Textverarbeitung, führt über Klärung und Bearbeitung von z.B. widersprüchlichen individuellen Erfahrungen und Wissensbeständen zu einem möglichen Spektrum von einüb- baren Handlungs- und Verhaltensmustern. Damit sich daraus dann so etwas entwickeln kann wie Routinen (im Sinne von „beibehalten“), bedarf es oft immer noch vieler entsprechender Übungs- und Anwendungssituationen.

(6.) Es ist für die Lerngestaltung wichtig, zwischen expliziten und impliziten Lernvorgängen und -mustern zu unterscheiden. Ein Teil unseres expliziten Speichers, unser Episodengedächtnis, hält z.B. persönliche Erlebnisse, Situationen und Begegnungen fest. Explizit und bewusst erwerben wir überwiegend unser Faktenwissen; wir lesen ein Sachbuch, hören einen Text, sehen eine TV-Sen-

dung und können – wenn wir denn die jeweiligen Inhalte verarbeiten konnten und weitgehend verstanden haben – die jeweils neu erworbenen Kenntnisse mindestens über eine gewisse Zeit wiedergeben. Wenn wir solche Kenntnisse in unserem semantischen Gedächtnis fest und nachhaltig gespeichert haben, spricht man von „expliziten Wissensbeständen“.

Nicht alles, was wir lernen, lernen wir allerdings explizit und bewusst. Viele unserer Wahrnehmungen sind eher unbewusst (Priming), aber auch dies hinterlässt Spuren. Motorische Verhaltensweisen etwa, aber auch soziale Einstellungen, emotionale Reaktionen, Attitüden ... erlernen wir häufig ebenfalls unbewusst, implizit. Wir lernen sie z.B. dadurch, dass wir über längere Zeit uns in Kontexten bewegen, in denen diese Muster von den uns umgebenden Personen und Gruppen durchgängig oder doch überwiegend benutzt werden und wir sie als erfolgreich, alltagstauglich und viabel erfahren. Wir nehmen solche Muster unbewusst als Modelle wahr und übernehmen sie oft unreflektiert als eigene Orientierungsmuster. Solche impliziten Modelle erweisen sich gerade deswegen als ungewöhnlich stabil, weil sie auf einem langen Muster-Entwicklungsprozess basieren und entsprechend stark neuronal repräsentiert sind. Besonders für pro-soziale Verhaltensweisen, für Einstellungen und Motivationen zum Lernen, für wertorientiertes Urteilen und Handeln müssen Schule und Unterricht eben auch über sinnvolle und wirksame Formen impliziter Musterbildung nachdenken, z.B.:

- Was eine Schule an konkreten Strukturen und Modellen entwickelt hat, damit Schüler/-innen sich an der Gestaltung des schulischen Alltags beteiligen, sich um andere kümmern, Konflikte friedlich lösen, Mitschüler/-innen beim Lernen helfen können, ist für die Entwicklung pro-sozialer Fähigkeiten wie Engagement, Hilfsbereitschaft, Solidarität etc. häufig bedeutsamer und nachhaltiger als viele Unterrichtsstunden, in denen „nur“ darüber geredet wird.
- Wie Lehrer/-innen selbst von ihrem Fach, von „ihrem“ Lerngegenstand, einem fachlich-sachlichen Problem „positiv angesteckt“ sind und ihr fachliches Engagement erkennbar wird, beeinflusst ganz offensichtlich die Lernmotivation der Schüler/-innen in ganz besonderem Maße; „Experten-Novizen-Modelle“ bestätigen z.B. die hohe Wirksamkeit solcher impliziten Lernmuster.
- Wenn es um Wertorientierung und um ein entsprechendes soziales Verhalten geht, dann bleiben alle dazu gehaltenen Unterrichtsstunden umsonst, sind sogar contrafinal, wenn die Werte, die als wichtig dargestellt werden, nicht auch von allen in der Schule arbeitenden Personen und Gruppen respektiert und durch eigenes Verhalten („musterhaft“ im doppelten Sinne!) beglaubigt werden. Hier bestätigt sich neuronal das, was in einem anderen Beschreibungsparadigma „geheimer Lehrplan“ genannt wird.

Muster und Mustererkennung sind aber nicht unabhängige, gewissermaßen „autonome“ Prozesse. Unser Gehirn nimmt nämlich nicht alle und alle möglichen Sinnesreize auf, verarbeitet sie zu Mustern und speichert sie. Das würde – um das Bild vom Schnitzen noch einmal zu bemühen – nämlich nicht zu einem konturierten, sinnvoll gestalteten Totempfehl, sondern eher zu einem mit chaotischen Linien und Figuren bedeckten Holzstamm führen, auf dem man eigentlich nichts Richtiges und Sinnvolles erkennen und vor lauter Linien keine Muster erkennen kann. *Im „Gewühl unserer Sinne“ wählt unser Gehirn vielmehr aus* und sorgt, wie im nachfolgenden Abschnitt verdeutlicht werden soll, für „sinn-volle“, viable und bedeutsame Wahrnehmungs- und Erinnerungsstrukturen.

2. Sinn, Relevanz und Bedeutung

*„Woher soll ich wissen,
was ich denke,
bevor ich verstanden habe,
was ich gesagt habe?!“*

Unsere Vorstellungen über unser Gehirn sind – wie Umfragen zeigen – stark davon geprägt, dass wir es als eine Art Computer ansehen, in den Eindrücke, Informationen, Erlebnisse eingegeben, gespeichert und wieder abgerufen werden. Dieser Vergleich ist aber in einem ganz fundamentalen Sinne falsch. In einen Computer können wir stundenlang Daten, Bilder, Texte etc. eingeben, auch absolut unsinnige; ein kurzer Speicherbefehl reicht und unser PC wird alle eingegebenen Daten genauso abspeichern und sie nach zwei Minuten oder zwei Jahren genau so wieder auf dem Bildschirm darstellen, wie sie eingegeben wurden. Das eben kann unser Gehirn nicht. Unser Gehirn kann aber weit mehr. Zu den entscheidenden Unterschieden zwischen Computer und Gehirn gehört es u.a., dass unser Gehirn zum einen nach Kategorien von „Sinn“ „Relevanz“ und „Bedeutung“ arbeitet, dass es zum zweiten – auch unabhängig von Außeneindrücken – aufgenommene Eindrücke eigentätig verarbeitet und dass es schließlich drittens in parallel ablaufenden unterschiedlichen Verfahren neue und bereits verarbeitete Eindrücke miteinander vernetzt und verarbeitete Erfahrungen miteinander in Beziehung bringt. *Wir lernen und behalten eigentlich auch nur das, was Sinn macht, was wichtig für uns ist und was für uns Bedeutung hat.*

Die zentrale Stelle, an der dieser Prozess der Bedeutungszumessung, der Wichtigkeitsbestimmung in unserem Gehirn abläuft, ist der Hippocampus. In der englischsprachigen Fachliteratur wird seine Bedeutung mit dem Wort „hub“ („Nabe“) treffend charakterisiert, um den sich alles, was irgendwie mit Lernen zu tun hat, letztlich dreht.

In der Tat ist der Hippocampus als eine Art *Schaltzentrale* von überragender Bedeutung für unsere Lern- und Verarbeitungsprozesse. Er ist zuerst einmal eine Art „*Neuigkeitendetektor*“ (Spitzer) und als solcher für die Unterscheidung von alt, bekannt, unwichtig, unbedeutend, uninteressant und neu, unbekannt, wichtig, bedeutsam, interessant zuständig. Er sorgt sozusagen dafür, dass Sinnesreize, die zuerst in der Großhirnrinde bearbeitet werden, eine besondere Bedeutung zugewiesen bekommen.

Zum zweiten initiiert er den Prozess, dass Fakten, Ereignisse, Situationen und Neuigkeiten auch tatsächlich bewusst wahrgenommen und intensiver verarbeitet werden können. Wenn der Hippocampus eine Sache als neu, als interessant, als bedeutsam und wichtig identifiziert und entsprechend gewichtet hat, macht er sich daran, diese Zusammenhänge zu speichern, d.h. er bildet „neuronale Repräsentationen“ aus. In bildgebenden Verfahren kann tatsächlich nachgewiesen werden, dass und wie sich die neuronalen Potentiale der entsprechenden Zellverbände und Cluster intensivieren und vergrößern.

Drittens verfügt er offensichtlich zusätzlich auch noch über die Fähigkeit, nicht vollständige Informationen auf Grund eigener, bereits existierender neuronaler Repräsentationen zu vervollständigen und sie damit stimmig zu machen, wo dies „sinnvoll“ erscheint.

Und viertens schließlich sorgt der Hippocampus dafür, dass wichtige Ereignisse, Neuigkeiten und Zusammenhänge in langfristige Speicherstrukturen überführt werden. Diese letztgenannte Funktion vor allem macht ihn zum Dreh- und Angelpunkt unserer Speicher- und Erinnerungsprozesse. Im Gegensatz zu unserem Kortex, der Großhirnrinde, „lernt“ der Hippocampus nämlich neue und wichtige Einzelheiten, Ereignisse und Episoden zwar schnell, aber er verfügt nur über eine relativ geringe Speicherkapazität. Unsere Großhirnrinde hat dagegen eine schier unbegrenzte Speicherkapazität, sie „lernt“ (verändert ihr neuronales Potenzial) aber nur sehr langsam und eigentlich erst dadurch, dass bestimmte Informationen und Muster immer wieder, auch in neuen Zusammenhängen und unterschiedlichen Kontexten angeboten und verarbeitet werden. Genau diese Prozesse bewirkt der Hippocampus. Er leitet das an die deutlich größere Speichereinheit Kortex weiter, was er selbst als bedeutsam gewichtet und gespeichert hat. Und das auch und ganz besonders in unseren Ruhe- und Schlafphasen. Hippocampus und Großhirnrinde arbeiten dabei gleichzeitig arbeitsteilig und synchron. *Der Hippocampus fungiert damit gewissermaßen als „Trainer und Lehrer des Kortex“*. „Immer dann, wenn der Hippocampus etwas (vorläufig) gelernt hat, wird nachfolgend „off-line“ das Gelernte zum Kortex übertragen. Dies geschieht z.B. im Tiefschlaf. Auf diese Weise speichert der prinzipiell sehr langsam lernende Kortex im Laufe der Zeit alles Wichtige, was zuvor eben im Hippocampus gespeichert worden war.“ (Spitzer 2002, S.125, vgl. auch S. 22 ff)

Einige Neurobiologen gehen davon aus, dass weit über 90% aller Gehirntätigkeiten gehirntern arrangierte Prozesse sind und nur der Rest unserer neuronalen Aktivitäten mit der Verarbeitung von Informationen und Eindrücken beschäftigt ist, die uns von außen über unsere Sinne erreichen oder durch die Sinne ausgewählt werden.

Unser Gehirn nimmt also – anders als ein Computer – nicht einfach alles auf, verarbeitet es zu Mustern und speichert diese ab; vielmehr bewertet und gewichtet es die Vielzahl der über unsere Sinne einströmenden Eindrücke und beteiligt sich bearbeitend, sortierend und vernetzend am Aufbau von Gedächtnissen. Der Plural wird hier deswegen gewählt, weil die Kognitionsforscher unterschiedliche Gedächtnisformen und die damit zusammenhängenden neuronalen Strukturen voneinander unterscheiden. Bezogen auf die zeitliche Verfügbarkeit und die Kapazität gespeicherter Informationen unterscheiden sie z.B. Ultrakurzzeit-, Kurzzeit- und Langzeitgedächtnis, bezogen auf die Inhalte deklaratives (explizites Wissen) und ein nicht-deklaratives (implizites Können) Gedächtnis.

Das Spezifische unserer neuronalen Speicher- und Erinnerungsprozesse besteht nun allerdings darin, dass wir das, was wir wahrnehmen, nicht einfach „pur“ abspeichern, behalten und genauso wieder erinnern. Vielmehr ist es so, dass immer dann, wenn wir uns an Ereignisse, an Eindrücke, Zusammenhänge oder gemachte Erfahrungen erinnern, wir nicht auf die „eigentlichen“ Ereignisse, Eindrücke, Zusammenhänge, Erfahrungen ... „in Reinkultur“ zurückgreifen können, sondern immer nur auf die von unserem Gehirn gespeicherten Formen ihrer Verarbeitung. Verarbeitet heißt dabei, dass die jeweils aufgenommenen Informationen zum einen bereits mit einer Vielzahl von kontextuellen Bezügen abgespeichert worden sind. *„Wenn man sich erinnert, dann nicht an die Sache selbst, sondern nur an das letzte Mal, wo man sich an sie*

erinnert hat“ (John Barlow zitiert nach Calvin 1995, S.168). Häufig erinnerte und erzählte Situationen (z.B. die hundertmal erzählten Geschichten „von früher“) bekommen dadurch manchmal sogar eine Art „Eigenrealität“; sie werden in diesem Sinne selbst „real“ und werden zunehmend auch vom Erzähler selbst als „wirklich“ empfunden, auch wenn die „erinnerten Erinnerungen“ am Ende möglicherweise noch so sehr faktisch von den tatsächlich erfahrenen Situationen abweichen. Solche häufig erzählten Geschichten gehören zu den besonders tief eingeschnitzten Mustern, an die man sich noch im hohen Alter erinnert, selbst wenn man viele „jüngere“ Erinnerungen oder gerade erlebte Ereignisse schon wieder vergessen hat.

Die hergestellten Bezüge führen dazu, dass unsere verarbeiteten Erfahrungen *an ganz unterschiedlichen Stellen und in unterschiedlichen Strukturen* unserer neuronalen Gedächtnisnetzwerke abgelegt und gesichert werden. Das sieht auf den ersten Blick nach einer Verschwendung von neuronaler Aktivität und Gehirnkapazität aus, erweist sich aber letztlich als höchst ökonomisch. Die vielfältigen Vernetzungen sorgen nämlich dafür, dass wir auf ganz unterschiedliche Weise wieder an die gespeicherten „Inhalte“ gelangen können. Wir erhalten dadurch sozusagen ein ganzes Bündel von „Schlüsseln“ – sprich Erinnerungszugängen –, um Erfahrenes und Gelerntes wieder „erschließen“ zu können. Selbst wenn wir einen oder mehrere Schlüssel nicht gerade parat haben, helfen uns andere dabei, die notwendigen Zugänge zu finden; mit den „erinnerten Erinnerungen“ werden dann übrigens oft auch die verlegten anderen „Schlüssel“ wieder reaktiviert.

Aus solchen neurobiologischen Erkenntnissen ergeben sich deutliche Hinweise für die Gestaltung unterrichtlicher Lernprozesse, wenn es etwa um die Optimierung unserer Gedächtnisleistungen geht.

(1.) Lehrer/-innen sollten Angebote machen, die es den Schülerinnen und Schülern ermöglichen, ihre individuellen und subjektiven Erfahrungen mit den jeweiligen Lerngegenständen zu verbinden. Der Lerngegenstand kann so in seinem Sinn, in seiner Bedeutung für das eigene Lernen, den Alltag, das eigene Verständnis wahrgenommen werden;

(2.) Lehr- und Lerngegenstände sollten vielfältige Zugänge aufweisen und mehrkanalige, kognitive und emotive Verarbeitungsformen miteinander kombinieren. Sachinformationen können z.B. mit Geschichten, Ereignissen, Erfahrungen anderer Menschen etc. verbunden werden. Da Sinn und Bedeutung auch individuell variieren können, ist es wichtig, unterschiedlich strukturierte Sinnangebote herzustellen. Das kann z.B. durch starke interaktive, kooperative und soziale Einbindungen geschehen. Durch die Einbeziehung anderer Mitschüler/-innen entsteht ein größeres Spektrum von Aspektuierungen eines Lerngegenstandes, divergente Lösungsansätze oder auch gemeinsam getragene Lösungen;

(3.) Lernangebote sollten ganz gezielt mit hohen Neuigkeitswerten, überraschenden Darstellungen, auch „Rätseln“, kognitiven „Widerständen“ etc. operieren und durch außergewöhnliche Aspekte und situative Besonderheiten Aufmerksamkeitssteigerung erzielen. Nur wenn unser Hippocampus angeregt wird, leistet er seinen Beitrag für eine erste Speicherung und später für eine Weiterleitung an unseren Kortex. Geeignet dazu sind etwa neue situative Bedingungen, neue Lernorte, neue Lernanreize und Lernaufgaben, neue Anforderungen zur Aktivierung von Interesse und Aufmerksamkeit etc.;

(4.) Sie sollten darüber hinaus lernerspezifische Strukturierungsangebote beinhalten, die beim Aufbau stabiler Repräsentations- und Behaltensmuster helfen können und die Übertragbarkeit in unser Langzeitgedächtnis erleichtern. Das kann durch einfache Strukturskizzen, mind-maps, Kernsätze, Kurz-Memos etc geschehen. Schülerinnen und Schüler müssen solche unterschiedlichen Strukturierungs- und Gedächtnishilfen kennenlernen und selbst erfahren, welche für sie individuell die geeigneten sind. Dazu gehören aber u.a. auch Ruhephasen, in denen Gelerntes sich „setzen und vernetzen“ kann, in denen man z.B. einzelne Lernphasen noch einmal mental an sich vorbei ziehen lässt, bestimmte Lernergebnisse sich nochmals „ausmalt“ oder das, was man behalten hat, anderen erzählt. Gerade der Zugang, anderen das zu erklären, was man selbst zu verstehen versucht, ist ein ungewöhnlich wirksames Mittel, neuronale Strukturierungsformen zu unterstützen.

3. Emotionalität und Kognition

„Was den Menschen umtreibt, sind nicht Fakten und Daten, sondern Gefühle, Geschichten und vor allem andere Menschen.“ (Manfred Spitzer)

Die neurobiologische Forschung der vergangenen Jahre hat auch zu einem neuen Verständnis des Zusammenwirkens von kognitiven und emotiven Prozessen geführt. Vor allem die Dualismen von Körper-Geist, Gefühl-Verstand sind weitgehend aufgelöst worden und haben einem neuen Verständnis vom Zusammenwirken kognitiver und emotiver Prozesse Platz gemacht. Es wird dabei zunehmend erkennbar, dass emotionale Zugänge für unsere Urteils-, Entscheidungs- und Handlungsprozesse viel bedeutsamer und im wörtlichen Sinne entscheidender sind als wir das bisher angenommen haben. Faktisch ist es so, dass emotionale Zugänge messbar schneller ablaufen als unsere kognitiven, reflektierenden. Das heißt, bevor „wir selbst“ uns entscheiden etwas zu „wollen“, haben die für unsere Emotionen zuständigen neuronalen Strukturen die Situation schon „bewertet“ und entsprechende Aktionspotentiale aufgebaut. Experimente haben gezeigt, dass in der Tat einer kognitiven Entscheidung der Aufbau eines bereitgestellten Aktionspotenzials voraus geht. Der bewusste Wille kann für die später ausgeführte Handlung nicht ursächlich verantwortlich sein, da er eindeutig später eingesetzt hat. (vgl. etwa Mechsner 2003, S.78) Diese Erkenntnis hat zu dem oft zitierten Diktum geführt: *„Wir tun nicht das, was wir wollen, wir wollen das, was wir tun!“* Zurzeit findet verstärkt eine Diskussion darüber statt, ob wir – neurobiologisch gesehen – einen freien Willen haben und wie rationales und emotionales Bewusstsein zusammenwirken.

Ergebnisse aus dem Bereich der Emotionsforschung erweisen sich aber auch auf einer ganz praktischen Ebene als hilfreich. Emotionale Erregungszustände können sich sowohl positiv wie negativ auf Lernen, auf Behaltensleistungen, auf die Aktualisierung von deklarativen Gedächtnisinhalten und Leistungspotenzialen auswirken. In angstbesetzten Situationen, unter Leistungsdruck und in Situationen, die als Überforderung wahrgenommen werden, verschlechtern z.B. Stresshormone nachweislich die Leistungsfähigkeit vieler neuronaler Funktionen und wirken sich vor allem leistungsmindernd auf den Hippocampus aus, der – wie schon aufgezeigt – eine ganz entscheidende Bedeutung für sinnvolles und nachhaltiges Lernen hat. *Negative Gefühle verändern regelrecht unsere kognitiven Stile.* Wir können dann zwar immer noch etwa solche Aufga-

ben bewältigen, die einfache Lösungsroutinen erfordern, aber wir sind deutlich blockiert, wenn es um Aufgaben geht, deren Lösung Kreativität, Assoziativität und divergentes Denken erfordern. Hier erweisen sich negative Gefühle im wahrsten Sinne des Wortes als contraproduktiv. „Wer Prüfungsangst hat, der kommt einfach nicht auf die einfache, aber etwas Kreativität erfordernde Lösung, die er normalerweise leicht gefunden hätte. Wer unter dauernder Angst lebt, der wird sich leicht in seiner Situation ‚festfahren‘, ‚verrennen‘, der ist ‚eingeeengt‘ und kommt ‚aus seinem gedanklichen Käfig nicht heraus‘. Unsere Umgangssprache ist voller Metaphern, die den unfreien kognitiven Stil, der sich unter Angst einstellt, beschreiben.“ (Spitzer 2002, S 164)

Aus positiver Sicht weist dagegen z.B. das Konzept der „emotionalen Intelligenz“ darauf hin, dass wir mit Hilfe unserer Emotionen neue und tragfähige Zugänge zum Verstehen von Situationen herstellen und damit häufig schnelle und sinnvolle Verstehensprozesse organisieren. „Emotionen helfen uns beim Zurechtfinden in einer komplizierten und immer komplizierter werdenden Welt. Unser Körper signalisiert Freude oder Unbehagen lange bevor wir merken, warum.“ (Spitzer 2002, S.171, Damasio 1995) In diesem Sinne *gibt es eben nicht nur „emotionale Intelligenz“, es gibt auch „intelligente Emotionen“*.

Aus neurobiologischer Sicht ist es weiterhin unabweislich, dass Fühlen und Denken eng zusammengehören und dass eine Trennung von emotionalen, affektiven und kreativen Zugängen und Sachinformationen, Fakten und Fachdisziplinen nicht gehirnfreundlich ist. Entsprechend fällt die Kritik an den bestehenden Schul- und Unterrichtsstrukturen aus. Dabei wird darauf verwiesen, dass in der Schule Lerninhalte weitgehend von der emotionalen und praktischen Beteiligung, der Erfahrungs- und Lebenswelt der Kinder und Jugendlichen getrennt werden; dadurch wird u.a. verhindert, dass sie sich auch mit ihren emotionalen Potenzialen an deren Bearbeitung beteiligen können.

Nun sind Gefühle nicht nur auf Lerngegenstände bezogen, sondern auch auf Lernkontexte. Schließlich lernen wir in der Schule mit anderen zusammen – auch wenn jeder letztlich nur für sich alleine lernen kann. Motivationale Antriebe, Begeisterung, Unwohlsein, Lernfreude und Lernängste entstehen eben auch durch die, die mit uns in Lernsituationen agieren. Das bezieht sich auf Lehrer/-innen ebenso wie auf die Mitschüler/-innen. Wie schon zum Stichwort „implizites Lernen“ aufgezeigt, spielen die in Schule und Unterricht vorherrschenden emotionalen Modelle dabei eine entscheidende Rolle. Habe ich als Schüler/-in das Gefühl, dass „mein“ Lehrer ernsthaft an mir, an meinen Gedanken und Vorstellungen, an meinen Lernfortschritten interessiert ist? Habe ich das Gefühl, dass er mir helfen will und helfen kann? Habe ich das Gefühl, dass er selber Spaß am Unterrichten hat, dass er von seinem Fach und von den damit verbundenen Inhalten und Arbeitsweisen selbst angetan ist? Habe ich das Gefühl, dass meine Leistungen und unterrichtlichen Ergebnisse wertgeschätzt werden? Aus der empirischen Schul- und Unterrichtsforschung ist bekannt, wie wichtig es ist, dass Schüler/-innen die o.g. Fragen positiv beantworten können. Eine auf Wertschätzung individueller Fähigkeiten und Anstrengungen angelegte Lernatmosphäre und ein gutes soziales Klima sind Schlüsselvariablen für erfolgreiches Lernen und Leisten.

Und schließlich lässt sich das Verhältnis von Emotion und Kognition selbst als wichtiger Lernzusammenhang thematisieren. Unsere Gefühle können uns näm-

lich ebenso zu denken geben, wie umgekehrt unsere rationalen Entscheidungen und Begründungen bei uns oft auch ungute Gefühle hinterlassen können. (vgl. Blesenkemper 1998)

In der Tat sind viele unserer Motivationen, Entscheidungen, Optionen ... durch unsere emotionalen Grundstimmungen bestimmt, die sowohl entwicklungsabhängig als auch mentalitäts- und situationsspezifisch sind. „Bindungsgefühle“ wie Freundschaft und Solidarität sind überindividuell ausgeprägte „emotionale tools“, die z.B. die Stabilität von Gruppen sichern. „Ablösegefühle“ wie Freiheitsdrang, Suche nach Selbstständigkeit, die sich z.B. besonders stark in Pubertätsphasen artikulieren, sind wichtige emotionale Voraussetzungen für die Entwicklung eigener Formen der Lebensbewältigung. „Wertaffine Gefühle“ wie Scham, Empörung, Schadenfreude ... verweisen darauf, dass wir häufig vor-rationalen Bewertungsmustern unterliegen. *Dabei bewerten wir unsere Gefühle oft selbst wieder „gefühlsmäßig“*; wir reagieren z.B. mit Schadenfreude auf den Patzer einer Person und schämen uns vielleicht kurz darauf, dass wir Schadenfreude empfunden haben. (Vgl. Schirp 2000, 177 ff)

Wenn schulische und unterrichtliche Konzepte dabei helfen, über eigene und fremde Gefühle nachzudenken und sich ihrer bewusst zu werden, dann leisten sie einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung eines „vernünftigen Selbst-Bewusstseins“.

Für die Gestaltung von Schule und Unterricht lassen sich unter den skizzierten Aspekten Entwicklungslinien für die Gestaltung von Lernarrangements formulieren.

(1.) Lernsituationen und methodische -arrangements sollten so gestaltet sein, dass sie individuelle Lernverfahren und selbstständige Lernprozesse unterstützen. Sie sollten für die Schüler/-innen unterschiedliche, individuell bedeutsame Zugänge zu deklarativen und episodischen Lernprozessen und zur Nutzung von Lernergebnissen aufzeigen und ihnen somit Erfahrungen von der positiven Bedeutung ihrer Lernprozesse und -ergebnisse vermitteln;

(2.) In diesen Lernarrangements sollten darüber hinaus variationsreiche Formen von Üben, Leistungsförderung und Leistungsdarstellungen zur Geltung kommen, die den jeweiligen Entwicklungsständen und den emotionalen Selbstkonzepten der Schüler/-innen Rechnung zu tragen versuchen. Das macht eine andere schulische Zeitorganisation, aber auch ein variables System der Leistungsfeststellung erforderlich. Nicht alle müssen alles zur gleichen Zeit können. Erst wer sich sicher ist und keine Angst vor Leistungsbewertung haben muss, kann seine optimale Leistung auch erbringen. Die jetzigen Formen von Leistungsförderung und -bewertung sind ja nicht lerntheoretisch oder gar neurobiologisch begründet, sondern eigentlich „nur“ formal-organisatorisch;

(3.) Kooperative und soziale Lernarrangements sollten Lern- und Verstehensprozesse dort verstärken, wo sie einen Beitrag zur Verbesserung tragfähiger Selbstkonzepte der Lernenden leisten können. Sie sollten dabei ganz bewusst die emotionalen Erfahrungen der Lernenden einbeziehen und diese auch zur Sprache bringen. Das „Mit-Teilen“ eigener emotionaler Beteiligungen kann so selbst wieder zu einem Teil eines kommunikativen Verstehensprozesses werden;

(4.) Das gegenseitige Wertschätzen von Anstrengungen und Ergebnissen muss zu einem festen Bestandteil von Schulklima und unterrichtlicher Lernatmo-

sphäre werden. Wie Lehrer/-innen miteinander kooperieren, ob und wie sie gemeinsame Zielvorstellungen verdeutlichen können, wie sie ihr Interesse an ihrem Beruf, an der Entwicklung ihrer Schüler/-innen zeigen, ist von entscheidender Bedeutung für positive und leistungsfördernde Selbstkonzepte der Lernenden. Die Lehrenden müssen wissen, dass sie selbst „Modelle“ für die Entwicklung von Verhaltens- und Einstellungsmustern sind;

(5.) Gefühle und darauf bezogene Verhaltensweisen müssen auch in Unterricht und Schulleben zu denken geben. Die Auseinandersetzung mit der eigenen Gefühlswelt, das Erlernen von Verfahren, die eigenen Gefühle auch zu „kontrollieren“ und mit ihnen und denen anderer verantwortungsbewusst umzugehen, ist ein wichtiges Ziel schulischer Bildungs- und Erziehungsarbeit. Dazu gehört es auch, dass Schüler/-innen lernen, mit Leistungs-, Prüfungs- und Versagensängsten umzugehen. Neben entlastenden klimatischen Lernbedingungen sollten auch Bewegungs- und Entspannungsformen sowie kreative und musisch orientierte Lernzugänge zum festen Repertoire der Lehrer/-innen gehören.

Hier konnten nur drei wichtige neurobiologische Ansätze und ihre Bedeutung für die Lerngestaltung skizziert werden. Weitere Forschungsaspekte und -ergebnisse gilt es zu beobachten und darauf zu achten, was sich an Anregungen für Lernen und Lehren daraus gewinnen lässt. Zu den besonders spannenden und vielversprechenden Ansätzen gehören dabei zweifellos die *Phänomene von Neuroplastizität und Periodizität*. Darunter werden die periodische Entwicklung unseres Gehirns und die damit verbundenen Leistungen in unterschiedlichen Entwicklungsphasen verstanden. Die Neurobiologen sprechen von „neuronalen oder neuroplastischen Fenstern“.

Gerade die Periodizitätsforschung, die sich z.B. mit der Frage befasst, wann neuronale Entwicklungen ablaufen, die für bestimmte Lernleistungen (Lesen, Schreiben, Fremdsprachen...) von besonderer Bedeutung sind, ist natürlich für Pädagogen von besonderem Interesse. Je genauer wir nämlich über solche Lernbedingungen und Lernmöglichkeiten Bescheid wissen, desto besser können wir Lernarrangements den jeweiligen Entwicklungsständen der Lernenden anpassen und Über- und Unterforderung weitgehend vermeiden. Das wäre ein weiterer wichtiger Schritt in Richtung eines „gehirnfrendlichen“ Lehrens und Lernens.

Ein Ausblick

Vieles, was bisher aus Sicht der Neuro-Wissenschaften an Konsequenzen formuliert wurde, ist – auf den ersten Blick – so neu und originell ja nicht; viele methodische und didaktische Ansätze finden ihre Bestätigung durch die Neuro-Wissenschaften. Eine solche Absicherung guter pädagogischer Praxis aus naturwissenschaftlicher Sicht ist aber für die Weiterentwicklung von Schul- und Unterrichtsqualität von nicht zu unterschätzender Bedeutung. Bestätigt werden darüber hinaus aber auch schulkritische Zugänge. Einiges, was in unseren Schulen zur Selbstverständlichkeit geworden ist, müsste gerade auch aus neurobiologischer Sicht neu überdacht werden. Aus Sicht der Hirnforschung müssten neue schulische und unterrichtliche Modelle entwickelt werden, z. B. für eine stärker differenzierte Lernorganisation im Fachunterricht, für flexible Lernzeiten, für differentielle und individuelle Förderkonzepte, für die individuelle Verarbeitung von Leistungsdruck und den Aufbau tragfähiger Selbstkonzepte,

für die Vernetzung von Unterrichtsinhalten, für soziale Muster im Bereich von Schulkultur und Schulleben etc. Die Verbesserung von Lernen an den Bedingungen und Möglichkeiten der Lernenden zu orientieren, Lehren und Lernen sozusagen „brain friendly“ zu gestalten wäre somit ein richtungsweisender Beitrag zur Weiterentwicklung von Schul- und Unterrichtsqualität.

Gerade angesichts der aktuellen bildungspolitischen Entwicklungen, im Gefolge der internationalen Studien mit Hilfe von Mindeststandards, Kerncurricula, Lernstandserhebungen und zentralen Abschlusstests eine ergebnisorientierte Steuerung von Schul- und Unterrichtsentwicklung vorzunehmen, wird es umso wichtiger werden, die „Lernerseite“ dabei nicht aus den Augen zu verlieren. Dabei könnten die Ergebnisse neurobiologischer Forschung helfen.

Literatur

- Blesenkemper, Klaus: Gefühle geben zu denken. In: Zeitschrift für Didaktik der Philosophie und Ethik, 1998 4, S. 254-265
- Calvin, William H.: Die Symphonie des Denkens. Wie Bewusstsein entsteht. München: dtv, 1995
- Damasio, Antonio R.: Ich fühle, also bin ich. Die Entschlüsselung des Bewusstseins. München: List, 1999
- Goleman, Daniel: Emotional Intelligence. Why it can matter more than IQ. New York: Bantam, 1996
- Fletcher, Mark: Teaching for Success. The Brain friendly Revolution in Action. Hythe, Kent: Brain-Friendly Publications, 2001
- Maturana, Umberto: Was ist erkennen? Die Welt entsteht im Auge des Betrachters. München: Goldmann, 1996
- Metzinger, Thomas: Das Problem des Bewusstseins. In: Th. Metzinger (Hg.): Bewusstsein. Beiträge aus der Gegenwartsphilosophie. Paderborn, München, Wien, Zürich: Schöningh, 1995, S.15-53
- Pinker, Steven: How the Mind Works. London: Penguin Books, 1999
- Ratey, John J.: Das menschliche Gehirn. Eine Gebrauchsanweisung. Düsseldorf und Zürich: Walter Verlag, 2001
- Roth, Gerhard: Das Gehirn und seine Wirklichkeit. Kognitive Neurobiologie und ihre philosophischen Konsequenzen. Frankfurt am Main: Suhrkamp, 2001, 6. Aufl.
- Schirp, Heinz: Praktische Philosophie in Nordrhein-Westfalen. In: R. Schilmöller u.a. (Hg.): Ethik als Unterrichtsfach. Münster: Aschendorff, 2000, S. 111-133
- Schirp, Heinz: Social Learning and values orientation. A contribution to quality development and to a democratic school culture. In: J. Letschert (Hg.): Turning the perspective. New outlooks for education. Enschede: slo, 2001, S. 129-153
- Singer, Wolf: Der Beobachter im Gehirn. Essays zur Hirnforschung. Frankfurt: Suhrkamp, 2002
- Spitzer, Manfred: Geist im Netz. Modelle für Lernen, Denken und Handeln. Heidelberg u. Berlin 2000
- ders.: Lernen: Gehirnforschung und die Schule des Lebens. Heidelberg u. Berlin 2002

Heinz Schirp, geb. 1942, LRSD, Dr., Stellvertretender Direktor des Landesinstituts für Schule, Soest; Arbeitsschwerpunkte: Curriculumentwicklung, moral-kognitive Entwicklung, Lernkonzepte und Unterrichtsentwicklung.
Anschrift: Hans-Holbein-Str. 37, D-58706 Menden
Email: heinz.schirp@mail.lsw.nrw.de