

PÄDAGOGIK

LEHREN MIT KÖPFCHEN

Beim Lernen verändern sich die Verschaltungen im Gehirn. Im Rahmen des neuen Forschungszweiges »Neurodidaktik« können Hirnforscher Lehrern und Pädagogen helfen, didaktische Strategien zu entwickeln. Liegen die schlechten Pisa-Ergebnisse daran, dass der Schulunterricht nicht beachtet, wie das Gehirn funktioniert?

VON GERHARD FRIEDRICH UND GERHARD PREISS

Mit dem ersten Schultag nach den Sommerferien begann für zehn Millionen Kinder und Jugendliche in Deutschland wieder der Ernst des Lebens. In den Klassenzimmern versuchen 800000 Lehrerinnen und Lehrer, ihren Schülern die Dinge des Lebens beizubringen. Vom Lesen und Schreiben über den Dreißigjährigen Krieg bis hin zur Differenzial- und Integralrechnung – gelehrt und gelernt wird vieles und sehr Verschiedenes. Doch schafft es die Schule wirklich, das zu vermitteln, was der Nachwuchs für eine erfolgreiche Zukunft braucht?

Wohl nicht, sonst wäre das deutsche Schulsystem bei der Pisa-Studie ja nicht derart abgeschlagen auf den hinteren Plätzen gelandet. Selbst bei grundlegenden Fähigkeiten wie Lesen und Rechtschreibung offenbarten deutsche Schüler eklatante Mängel. Nach einer kurzen Schockstarre suchen Politiker und Pädagogen nun fieberhaft nach den Gründen für die »Bildungskatastrophe«. Dabei richten sich Fragen vor allem an die allgemeine Didaktik, also die Teildisziplin der Erziehungswissenschaften, die sich unabhängig vom Unterrichtsfach damit beschäftigt, wie Lehren und Lernen am effektivsten funktionieren.

Während Philosophen, Psychologen, Anthropologen und Soziologen schon seit Jahrzehnten rege mitdiskutieren, blieb bislang die Hirnforschung bei didaktischen Fragestellungen traditionell eher außen vor. Paradox: Denn Lernen findet schließlich im Kopf statt; jeder Lernvor-

gang geht mit einer Veränderung im Gehirn einher. Die Neurobiologie stellt somit zwangsläufig das naturwissenschaftliche Fundament dar, auf dem moderne didaktische Theorien aufbauen sollten.

Von dieser Idee gingen wir aus, als wir vor einigen Jahren eine neue Disziplin begründeten: die »Neurodidaktik«. Sie versucht das Lernen so zu gestalten, wie es das Gehirn am besten kann. Dieser Ansatz stößt jedoch unter eher geisteswissenschaftlich geprägten Pädagogen immer wieder auf Widerstand. Dabei käme doch wohl niemand auf die Idee, ein Haus etwa von Malern, Klempnern oder Gärtnern konstruieren zu lassen – ohne einen Ingenieur. Im Licht neuer Erkenntnisse der Hirnforschung zum Lernen stellten sich nämlich so manche erziehungswissenschaftliche Annahmen als zu einfach heraus.

Zum Beispiel die Thesen von Jean Piaget. Der im Jahr 1980 verstorbene Schweizer Übervater der Entwicklungspsychologie behauptete, dass die kognitive Entwicklung bei Kindern in systematisch aufeinander folgenden Stufen verlaufe. Charakteristische Fähigkeiten und Denkfehler würden jede dieser Stufen kennzeichnen, die damit dem Lernen altersabhängige Grenzen setzten. In einem seiner bekanntesten Versuche schüttete Piaget vor den Augen von Vorschulkindern Wasser von einem breiten in ein schmales Glas um. Die meisten seiner kleinen Probanden bestanden darauf, dass das schlankere mehr Wasser enthalte – wegen des höheren Pegels.

Piaget führte das darauf zurück, dass sie nur diese eine Größe beachten könnten und bei ihrer Entscheidung Breite und Tiefe vernachlässigten. Seine Schlussfolgerung: In der so genannten »voroperationalen« Phase, die bis etwa zum sechsten Lebensjahr dauert, seien Kinder prinzipiell nicht in der Lage, beim Erfassen der Welt mehrere Informationen gleichzeitig zu berücksichtigen und sinnvoll zu kombinieren. Wegen dieser Unfähigkeit zum logischen Denken sei es daher vergebliche Liebesmühe zu versuchen, einem Vorschulkind das Rechnen beizubringen.

Mittlerweile hat sich jedoch herumgesprochen, dass Kleinkinder solche intellektuellen Leistungen ohne weiteres vollbringen, sofern sie altersgerecht vermittelt werden. Schon Dreijährige haben ein Gefühl für grundlegende physikalische Zusammenhänge. Sie können Geschwindigkeiten bestimmen, indem sie Weg und Zeit richtig miteinander verknüpfen. Ebenso begreifen sie den Satz von Archimedes, also dass ein Körper nur schwimmt, wenn seine Dichte kleiner ist als die von Wasser.

Schon Säuglinge besitzen ein gewaltiges Grundwissen. So können Babys bereits im Alter von vier Monaten auf einer Tafel den Unterschied zwischen vier und sechs Punkten erkennen – der erste Schritt zum Rechnen. Krabbelkinder beweisen mathematisches Verständnis, wenn sie ihre Stofftiere nach Größe sortieren. Dieses intuitive Verständnis versuchen Kinder ständig auszubauen, nur ge-



GERHARD PREISS

GEOMETRIE IM GRÜNEN:

Der Zahlengarten (Modell von Rolf Beck) an der Max-Planck-Realschule in Bad Krozingen stellt die Zahlen von eins bis zehn in Form geometrischer Figuren dar: Vom Kreis mit einem Quadratmeter Flächeninhalt (links im Bild) im Gegenuhrzeigersinn bis zum Zehneck mit zehn Quadratmeter Fläche.

hen sie dabei anders vor als Erwachsene. »Learning by Doing« lautet das Prinzip der ersten Lebensjahre. Systematisch, konzentriert und meist mit unbeirrbarer Konsequenz führen die kleinen Wissenschaftler Experimente oder ganze Versuchsreihen durch, aus denen sie Theorien ableiten, die dann durch weitere Experimente untermauert oder revidiert werden. Wenn Bauklötzchen auch beim hundertsten Hochwerfen wieder zu Boden fallen, weiß der Nachwuchs, auch ohne den Begriff zu kennen, dass es so etwas wie Schwerkraft gibt. Verhaltensstudien haben bewiesen, dass Kinder dann besonders schnell ihr Wissen erweitern, wenn sie möglichst viel selbst ausprobieren dürfen. Hätte Piaget also seine Probanden das Wasser ein paar Mal von Glas zu Glas umschütten lassen, wäre die Mehrheit der Kinder wohl zum richtigen Ergebnis gekommen.

Neurobiologen beschreiben das Gehirn als aktives System, das mit einem gewissen Grundstock an Vorwissen auf die Welt kommt und dann sofort beginnt, Fragen an die Umwelt zu stellen. Vom

ersten Schrei an sind Kinder vor allem damit beschäftigt herauszufinden, was um sie herum passiert. Lange Zeit galt als sicher, dass die Leistungsfähigkeit des Gehirns – und damit auch das Lernpotenzial – ähnlich wie die Augen- oder Haarfarbe genetisch vorprogrammiert sei. Tierexperimente bewiesen jedoch, dass das Erbgut lediglich die Grundausstattung des neuronalen Bauplans festlegt. Der Informationseinstrom von den Sinnesorganen und die ständige aktive Wechselwirkung mit der Umwelt bestimmen dann, wie sich das Gehirn entwickelt, was wir lernen und welche Begabungen wir entfalten.

KAKAOTRINKEN FÜR ANFÄNGER

Bereits bei der Geburt besitzt jeder Mensch etwa hundert Milliarden Nervenzellen, eine Anzahl, die sich im Laufe des Lebens sogar wieder leicht reduziert. In den ersten beiden Lebensjahren wachsen vor allem die Fortsätze, über die jede Nervenzelle Signale zu über tausend weiteren schickt (siehe Bild Seite 67). Spezielle Kontaktstellen, die Synapsen, übermitteln die Informationen zwischen den einzelnen Zellen. Über hundert Billionen solcher synaptischer Verbindungen schließen sich die Neurone zu Netzwerken zusammen, die auch über größere Distanzen miteinander kommunizieren können.

Zunächst entstehen gleichmäßig verteilt zwischen den Nervenzellen Synapsen im Überschuss. Wenn aber bestimmte Neurone auf Merkmale ansprechen, die oft gemeinsam auftreten, und entspre-

chend häufig synchron feuern, verstärken sich die Synapsen zwischen diesen Nervenzellen und bleiben langfristig erhalten. Ein heißer Kakao beispielsweise besitzt mehrere Eigenschaften, die ganz verschiedene Sinne stimulieren: Er ist flüssig, braun, hat einen typischen Geruch, schmeckt ungezuckert ein wenig bitter, man kann sich daran die Zunge verbrennen. Jede Tasse, die ein Kind trinkt, fördert die synaptische Vernetzung zwischen den in diesem Moment aktiven Neuronengruppen. Nach einigen Tassen hat das Gehirn die Einzelinformationen auf diese Weise zu einem Gesamtbild verknüpft. Der Sprössling weiß jetzt, was einen guten Kakao ausmacht, und kann dieses Wissen auch jederzeit wieder abrufen. Umgekehrt lösen sich zwischen Nervenzellen, die nie gleichzeitig arbeiten, im Laufe der Zeit bestehende Verbindungen (siehe Bild Seite 68).

Ähnlich einem Bildhauer, der von einem unstrukturierten Stein überschüssige Teile wegklopft und damit eine Skulptur erschafft, modellieren Lernprozesse das mit einem Überschuss an Synapsen ausgestattete Gehirn. Sie sorgen dafür, dass selten gebrauchte Verschaltungen aufgelöst, häufig aktive dagegen verstärkt und gefestigt werden. Vom ersten Greifen über das Sprechen, die traumwandlerische Vertrautheit mit den Lebensläufen aller Pokemons bis hin zu den Englischvokabeln – alles, was wir lernen, verändert unser Neuronennetzwerk. Die Entwicklung kognitiver Fähigkeiten und die des Gehirns sind somit untrennbar anei-



GERHARD-PRESS

IN DER GUTEN STUBE:

Kindergartenkinder richten im Zahlenhaus jeder Zahl von eins bis zehn eine Wohnung ein. Dabei besetzt jede Zahl einen festen Platz im Raum.

inander gebunden – und damit auch die Didaktik und die Neurowissenschaft. Nur beide gemeinsam können neue kindgerechtere Lernstrategien entwickeln, mit denen Lehrer und Erzieher die individuellen Talente ihrer Zöglinge besser erkennen und fördern können. Und wer versteht, wie und unter welchen Bedingungen sich das Gehirn beim Lernen verändert, der kann auch besser lehren.

Obwohl Menschen nie auslernen, werden die Grundlagen des späteren Wissens zum großen Teil bereits in der Kindheit gelegt. Die Volksweisheit »Was Hänschen nicht lernt, lernt Hans nimmermehr« besitzt ein neurobiologisches Fundament. Denn welche Neuronen mit welchen verbunden sind, entscheidet sich vor allem in den ersten 15 Lebensjahren. Bis dahin entsteht der grundsätzliche Schaltplan der Nervenzellen. Dann ist die Gehirnreifung weitgehend abgeschlossen und die Bahnen, in denen der Erwachsene später denkt, sind zumindest grob vorgegeben. Auch danach verfügen die neuronalen Netzwerke noch über eine gewisse Plastizität: Vorhandene Synapsen werden bis ins hohe Alter durch neue Reize, Erlebnisse, Gedanken und Tätigkeiten gestärkt oder geschwächt, was uns lebenslanges Lernen ermöglicht. Doch nach der Pubertät ist das Hirn weniger leicht formbar und neue synaptische Verbindungen bilden sich deutlich seltener. Deshalb haftet Neues umso schlechter in unserem Gedächtnis, je später wir es uns aneignen wollen.

Dass Kinder am besten lernen, legen Untersuchungen des amerikanischen

Hirnforschers Eric Knudsen an der Stanford University mit jungen Eulen nahe. Er setzte ihnen so genannte Prism Brillen auf, durch die sie die Welt auf den Kopf gestellt sahen. Nach drei Wochen hatten sich die Jungtiere an die verkehrte Welt gewöhnt und konnten sich mühelos orientieren. Dann nahm er ihnen die Brillen wieder weg, worauf sie nach einiger Zeit wieder zurück zu ihrer ursprünglichen Wahrnehmung fanden. Als diese Eulen erwachsen waren, konnte Knudsen ihnen die Augengläser auf- und absetzen, wie er wollte – stets waren die Eulen in der Lage, ihre Sichtweise problemlos umzustellen. Sie hatten als Jungvögel eben beide Perspektiven gelernt! Bekamen jedoch andere Tiere die Brillen erst im Erwachsenenalter aufgesetzt, schafften sie es nicht mehr, sich daran zu gewöhnen.

FRÜH ÜBT SICH ...

Es gilt also, die Synapsen bei Kindern möglichst früh und vielseitig zu fordern, beispielsweise durch Fremdsprachen. So könnte es durchaus sinnvoll sein, dem Nachwuchs bereits im Krabbelalter englische Hörspielkassetten vorzuspielen. Auch wenn die Kleinen kaum ein Wort verstehen – allein das Hören entwickelt bereits in verschiedenen Arealen des Gehirns die für den späteren Erwerb dieser Sprache zuständigen Neuronenbahnen.

Eine dieser Hirnregionen ist das so genannte Wernicke-Zentrum, das Sprache erfasst. Es unterscheidet menschliche Laute und klassifiziert die verschiedenen Elemente einer Sprache. Ständig sucht das Kinderhirn beim Hören seine Umwelt nach auffälligen akustischen Mustern ab. Hat es ein sinnvolles gefunden, speichert es dieses im Wernicke-Zentrum. Nach und nach entsteht so ein Gedächtnis für Wortklänge der sprachlichen Umwelt. Ein Kind, das früh mit den Wortklangbildern zweier Sprachen ver-

traut wurde, besitzt später einen reicheren Vorrat an Klangmustern als ein Kind, das nur mit seiner Muttersprache aufwächst.

Für das Sprechen selbst ist in erster Linie das Broca-Zentrum verantwortlich. Hier entwickelt sich das Gedächtnis für die Aussprache. Dabei lernt ein Kind, durch Nachahmung gehörter Laute eigene Äußerungen anzupassen, zu unterscheiden und in die Bausteine der Sprache einzuteilen. Früher Umgang mit einer Fremdsprache speichert auch in diesem Areal reichhaltigere Muster. Dank der neuronalen Netze, die sich durch den Kontakt mit der zweiten Sprache entwickeln, wird das Kind bereits mit ihren klanglichen Eigenheiten vertraut. Begegnet es dann in der Schule den ersten englischen Vokabeln, kann sein Gehirn auf diese Schaltkreise zurückgreifen. Es speichert neue Worte schneller im Gedächtnis, und auch die korrekte Aussprache fällt leichter.

Wer von Kindesbeinen an zweisprachig aufgewachsen ist, verankert das Gelernte in so stabilen Netzwerken, dass er die Sprache selbst dann noch beherrscht, wenn er sie jahrzehntlang kaum benutzt hat. Das gilt aber auch für andere Gebiete wie den Umgang mit Zahlen. Schon so spielerische Übungen wie das gerechte Verteilen des Sandkuchens unter den Spielkameraden legen die neuronale Basis für mathematisches Verständnis.

Die Entwicklung des Gehirns benötigt also die ständige Interaktion mit der Außenwelt. Neurowissenschaftler haben dies am visuellen System intensiv erforscht. Bei der Geburt sind die neuronalen Verschaltungen für das Sehen durch den genetischen Bauplan grob vorgegeben. Die Feinabstimmung erfolgt dann im Austausch mit der Umwelt. Dabei ist eine bestimmte Entwicklungsphase, die so genannte kritische Periode, besonders wichtig. Ist der Umwelteinfluss während dieser Zeitspanne nicht oder nur eingeschränkt möglich, entwickelt sich die Sehfähigkeit auch nur teilweise oder geht sogar völlig verloren.

Die kritische Phase für eine ungestörte Ausbildung des Sehsystems reicht beim Menschen etwa bis zum Einschulungsalter. Wer in dieser Zeit nicht aktiv sieht und sein Gehirn mit visuellen Informationen füttert, wird später nie mehr sehen lernen, da sich die notwendigen synaptischen Verbindungen dann nicht mehr ausbilden können. Dies gilt im Prinzip auch für kognitive Prozesse. Die Vielfalt der Außenreize bestimmt, wie komplex sich die Nervenzellen verschalten und miteinander kommunizieren – dafür hat die Evolution gesorgt. Denn

wenn Gelerntes und Erfahrungen die Hirnentwicklung bestimmen, ist unser Zentralorgan an die jeweilige Umgebung optimal angepasst.

Was bedeutet das für die Didaktik? Wenn Erziehung und Bildung den Kindern die intellektuellen Anregungen geben, die das Gehirn braucht, können sich die geistigen Fähigkeiten entwickeln – und dann fällt auch das Lernen leicht. Besonders im Kindergarten und in der Grundschule scheuen sich Pädagogen oft, das kindliche Denken gezielt zu schulen – wohl weil sie ihre Zöglinge nicht überfordern wollen. Dabei ist das Kinderhirn gerade im Alter zwischen drei und zehn Jahren ständig auf der Suche nach neuem Futter, das die Welt ja auch reichlich bietet: Jede Sekunde prasseln über die Sinnesorgane unermesslich viele Eindrücke herein.

RENNMÄUSE IM LERNTEST

Allerdings nehmen wir keineswegs alle diese Reize wahr, denn dann kämen die grauen Zellen schnell an den Rand ihrer Möglichkeiten, die Fülle an Informationen sinnvoll zu ordnen. Stattdessen findet ein ständiger Auswahlprozess statt, der jenen winzigen Teil herausdestilliert, der wichtig genug ist, um im Gehirn abgelegt zu werden. Darüber entscheidet die Aufmerksamkeit. Sie veranlasst die Sinnesorgane, aus der Fülle der Reize diejenigen herauszusuchen, die bewusst verarbeitet werden sollen. Da in erster Linie Änderungen in der Umwelt das Gehirn interessieren, wecken neue, auffällige oder bewegte Objekte die Aufmerksamkeit fast automatisch.

Unbekanntes erregt die Neuronennetze besonders stark und wird deshalb besonders leicht als Information im Gedächtnis abgelegt. Kinder lieben Überraschungen, und ihre Gehirne auch. Das beschränkt sich nicht auf gewisse Schokoladeneier und ihren Inhalt. Ein abwechslungsreiches Umfeld, das jeden Tag aufs Neue neugierig macht, führt schon fast automatisch zum Lernen.

ZWEI JAHRE KNÜPFARBEIT:

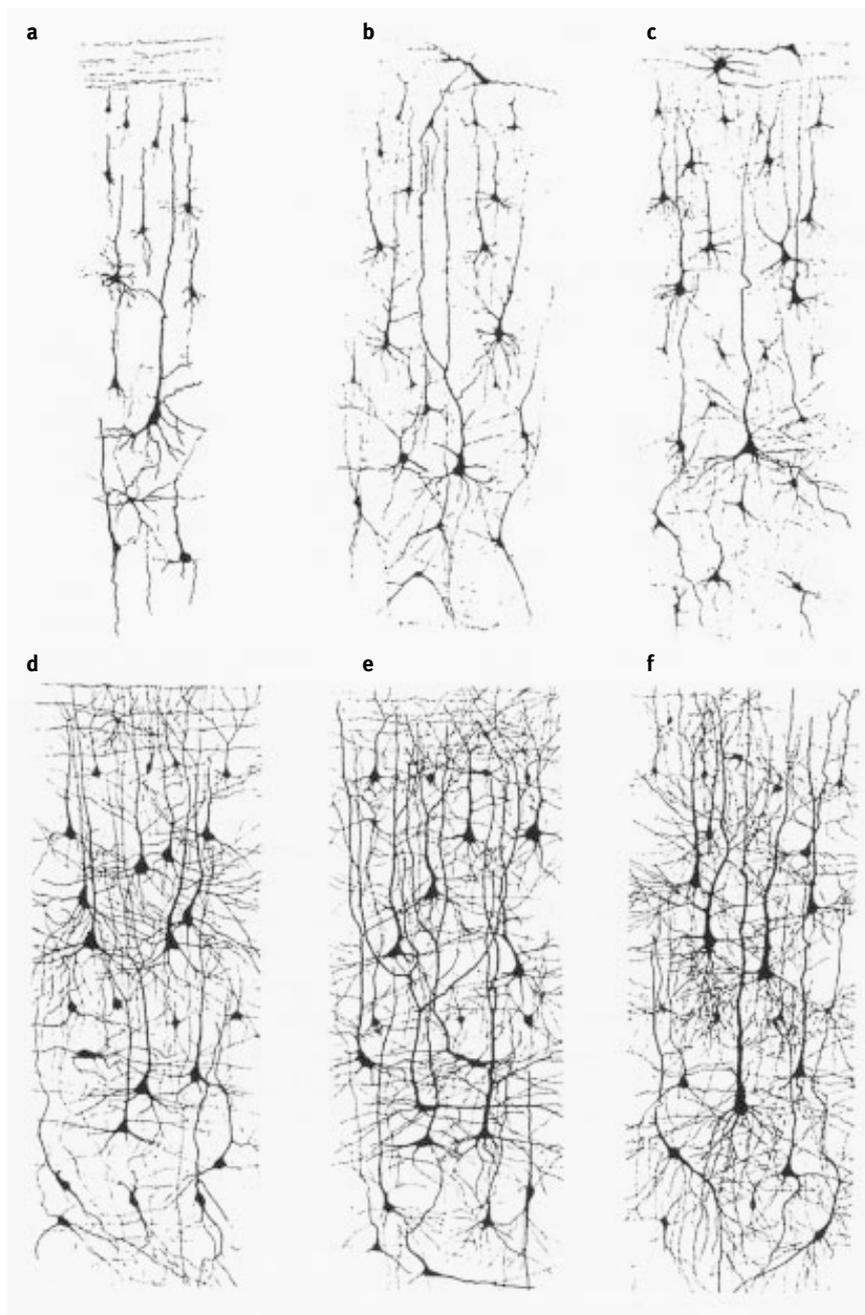
Während direkt nach der Geburt (a) die Nervenzellen in der menschlichen Großhirnrinde nur wenig Kontakte untereinander besitzen, beginnen sich schon nach ein (b) bis zwei (c) Monaten deutlich mehr Verbindungen auszubilden. Bei sechs Monate alten Kindern ist die Vernetzung bereits sehr stark ausgeprägt (d) und nimmt bis zum zweiten Geburtstag noch weiter zu (e: 15 Monate; f: 24 Monate).

Für welche Reize wir uns entscheiden, hängt aber auch von inneren Bedingungen ab, und dabei in erster Linie von der Bedeutung, die wir einem Geschehnis beimessen. Vor allem Erwartungen wecken die gezielte Aufmerksamkeit. Weil das Gehirn gelernt hat, dass aus Seitenstraßen Autos kommen können, achten wir beim Fahren automatisch auf diese Situation. Erwartete Reize gelangen – auf Kosten anderer Vorgänge – bevorzugt ins Bewusstsein, das sie wirksamer verarbeitet und schneller deutet.

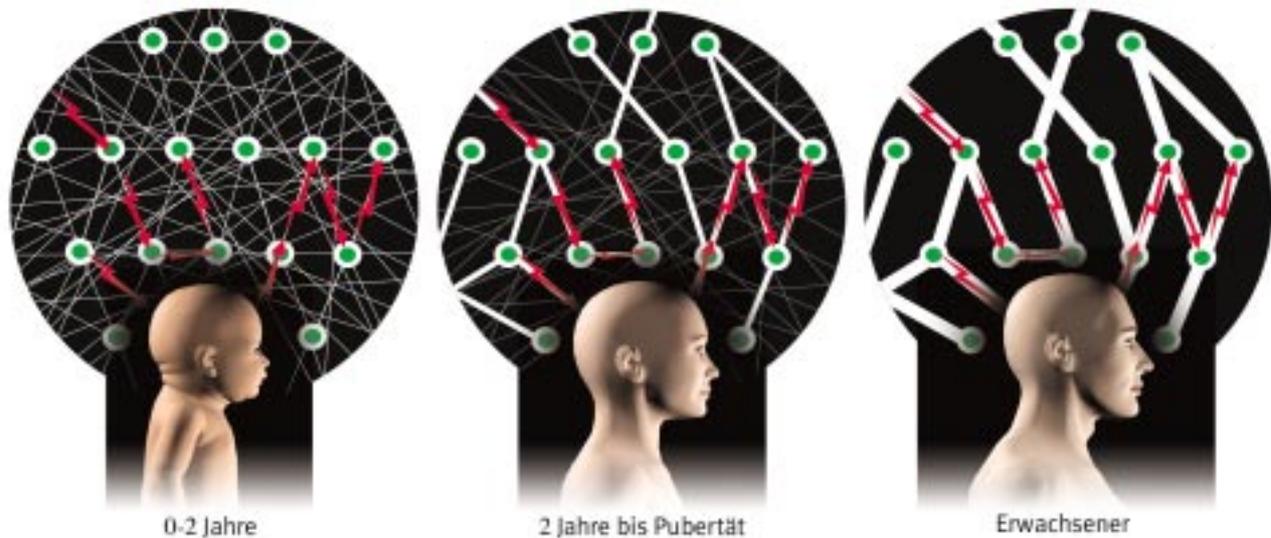
Jede Meldung von den Sinnesorganen veranlasst das Gehirn, das Gedächtnis nach Informationen zu durchforsten, die zu dem aktuellen Vorgang passen.

Hierbei fließen sämtliche früher gemachten Erfahrungen und Erlebnisse ein. erinnert ein neuer Sachverhalt beispielsweise an etwas Interessantes oder Erfreuliches, aktiviert das Gehirn alle damit irgendwie in Zusammenhang stehenden Nervenetze. In diese baut es das Neue dann ein – schon ist es gelernt.

Dabei beschäftigt sich die Großhirnrinde auch beim Lernen von Außenreizen vor allem mit sich selbst. Die meisten ihrer Nervenzellen erhalten Signale von anderen Rindenneuronen und leiten diese auch nur an andere Zellen in der Hirnrinde weiter. Der Grund: Diese Nervenzellen vergleichen den aktuellen sensorischen Input ständig mit schon vorhande-



AUS KOLB / WHISHAW, NEUROPSYCHOLOGIE

**ORDNUNG MUSS SEIN:**

In den ersten beiden Lebensjahren bildet sich eine große Anzahl an Verbindungen zwischen den Nervenzellen im Gehirn aus – wesentlich mehr, als später benötigt werden. Danach wird ausgelichtet: Nur die Kontakte bleiben erhalten und verstärken sich, die immer wieder benötigt werden; die anderen verkümmern. Mit der Pubertät ist dieser Prozess im Wesentlichen abgeschlossen: Dem Erwachsenen steht ein gut eingefahrenes, aber auch weniger anpassungsfähiges Nervennetz zur Verfügung.

nen Gedächtnisinhalten. Je mehr passende Daten schon vorhanden sind, desto leichter prägt sich Neues ein. Lernen ist also ein sich selbst fördernder Prozess – je besser ein Schüler schon Englisch oder Mathematik kann, desto schneller kommt er in diesem Fach weiter voran.

Aber wie sieht der schulische Alltag aus? Der versucht meistens kaum, bereits vorhandene Fähigkeiten auszubauen. Im Gegenteil: Stattdessen gilt es, die Defizite auszugleichen, die sich aus dem Vergleich zwischen Lehrplansoll und tatsächlichem Wissen der Kinder ergeben – frei nach dem Motto »wenn er die Integralrechnung jetzt nicht begreift, erreicht er das Klassenziel nicht«. Statt also die Fähigkeiten der Schüler zu nutzen und auszubauen, werden sie überwiegend mit ihren individuellen Schwachpunkten gemartert.

Doch es kommt noch schlimmer: Viele Lehrer vermitteln den Stoff immer wieder auf dieselbe Art und Weise. Die Schüler können sich dann oft nur retten, indem sie die Inhalte stur auswendig lernen, statt sie zu begreifen. Neurobiologisch gesehen ist das wenig sinnvoll! Hat

der Schüler etwas nicht richtig verstanden, verstärkt das Auswendiglernen gerade die falsch geknüpften Verbindungen, da es sie immer wieder aktiviert. Damit brennt sich der Denkfehler immer tiefer ins Gehirn ein. Hier hilft nur eines: Die Methode des Erklärens völlig ändern. Neu lernen fällt sehr viel leichter, als ein gefestigtes Neuronennetz zum Umlernen zu zwingen.

So frustrierend es ist, immer wieder am selben Problem zu scheitern, so befriedigend erfährt der Schüler einen Lernerfolg. Dafür sorgt das Gehirn selbst. Am Zentrum für Lern- und Gedächtnisforschung in Magdeburg haben die Neurobiologen Henning Scheich (siehe Bild Seite 69) und Holger Stark die Hirnflüssigkeit in der Stirnhirnrinde von Rennmäusen untersucht. Hatten die Nager eine ihnen gestellte Aufgabe richtig gelöst, stieg der Pegel des Überträgermoleküls Dopamin deutlich an. Das löst ein Glücksgefühl aus, mit dem sich die Maus gewissermaßen selbst belohnt.

EMOTIONEN ALS LERNTURBO

Gemeinsam mit Acetylcholin, einer anderen Transmittersubstanz im Nervensystem, macht Dopamin auch dem lernenden Menschen Lust auf mehr. Wenn wir eine neue Information in einen bestehenden Zusammenhang einordnen können, also etwas dazulernen, verstärken die beiden Mediatoren nicht nur unsere Konzentration, sondern sorgen auch für Zufriedenheit. Vielleicht huscht deswegen dann auch ein wissendes Lächeln über unser Gesicht.

»Alles, was beim Lernen Freude macht, unterstützt das Gedächtnis« wusste Jan Amos Comenius, einer der Begründer der Didaktik, bereits im 17. Jahrhundert – wahrscheinlich in erster Linie aus persönlicher Erfahrung. Heute

ist wissenschaftlich bewiesen, dass Emotionen bei der Gedächtnisbildung eine entscheidende Rolle spielen. Zuständig dafür ist das so genannte limbische System. Dieser Gehirnteil ermöglicht die ganze Palette von Gefühlszuständen, von Wut, Trauer, Angst und Unlust bis hin zu Glück und Lust. Jedes von den Sinnesorganen eintreffende Signal gelangt dorthin, parallel zum Weg zur Großhirnrinde.

Das limbische System bewertet also Inputs direkt, noch bevor das Bewusstsein Einfluss nehmen kann. Daher können wir zum Beispiel auf gefährliche Situationen blitzschnell und instinktiv reagieren. Das Emotionssystem entscheidet aber auch darüber, welche Reize wichtig und wertvoll sind. Auf dem Umweg über die Großhirnrinde wird die Situation mit früheren Erfahrungen und Überlegungen verglichen und gelangt in das Bewusstsein. Insgesamt können Gefühle Lernen fördern, indem sie die Aktivität neuronaler Netze intensivieren und damit ihre synaptische Verschaltung stärken.

Informationen, denen das limbische System einen emotionalen Stempel aufgedrückt hat, graben sich besonders tief ins Gedächtnis ein – und besonders dauerhaft. Während sich bloßes Wissen oft rasch verflüchtigt, bleiben Gefühle lang erhalten. Das Gehirn macht sich das zu Nutze, indem es verschiedene Gedächtnisinhalte mit derselben Gefühlstönung verknüpft. Diese wird später beim Lernen wieder aktiv und erleichtert es, Elemente einer neuen Situation in das vorhandene Netz einzugliedern.

Emotional gefärbte Informationen finden aber nicht nur einfacher den Weg ins Langzeitgedächtnis, sondern bleiben auch abrufbereiter. Selbst wenn das Schulenglisch längst vergessen zu sein scheint – allein die Melodie des Lieblingshits von den Rolling Stones zu hö-

ren genügt, auch den Text wieder ins Bewusstsein zu bringen. Wie sehr Gefühle und Erinnerungen zusammenhängen, lässt sich auch daran erkennen, dass bestimmte Gedächtnisstörungen wie die Alzheimer'sche Krankheit immer mit Schädigungen des limbischen Systems einhergehen.

SPIELEN HILFT SPEICHERN

Die Neurobiologie zeigt also: Es lernt sich am besten, wenn der Stoff einen emotionalen Inhalt hat, was etwa bei schwierigen mathematischen Zusammenhängen sicher nicht immer ganz leicht ist. Pädagogen können sich beispielsweise damit helfen, dass sie die trockenen Formeln in eine spannende Geschichte verpacken. Ganz wichtig ist auch ein gefühlsmäßig angenehmes Lernumfeld. Es fördert die Neugier und Motivation der Schüler, wovon Lernen und damit auch Lehren vor allem komplizierterer Zusammenhänge profitieren.

Dass Gefühle Wahrnehmung und Aufmerksamkeit stark beeinflussen, hat wahrscheinlich jeder schon einmal beim Lesen eines Buches beobachtet. Mancher Roman lässt einen schlichtweg kalt, die Gedanken schweifen ab und die Lektüre bereitet mehr Mühe als Freude. Bringt die Handlung hingegen eine emotionale Saite zum Schwingen, widmet man dem Schmöker seine volle Konzentration und versinkt tief in der Geschichte, die das limbische System dann unvergesslich macht.

Das gilt genauso für den Unterricht. Solange ein Kind nur neutral beobachtet, tut es sich schwer, etwas im Gedächtnis zu behalten. Erst Gefühle verwandeln das Geschehen im Klassenzimmer in persönliches Erleben, da dann die Lerninhalte den einzelnen Schülern etwas bedeuten. Als Folge stellt sich auch der Lernerfolg schnell ein, gemeinsam mit einem befriedigenden Gefühl, das für die vorangegangenen Mühen belohnt.

Aus urheberrechtlichen Gründen können wir Ihnen die Bilder leider nicht online zeigen.

Emotion und Motivation lenken also das Aufmerksamkeitssystem, das darüber entscheidet, welche Informationen in den neuronalen Schaltkreisen gespeichert und damit gelernt werden. Die Aufmerksamkeit kann sich aber nur schlecht auf zwei Dinge gleichzeitig richten. Aktivität in einem Netzwerk hemmt Aktivitäten in den anderen. Im Unterricht ständig zwischen zwei verschiedenen Themenbereichen hin- und herzuwechseln, macht deshalb wenig Sinn. Kinder brauchen Zeit, sich einem Lerninhalt bewusst zu nähern. Ist das Interesse geweckt, sollten sie die Möglichkeit haben, sich der Sache konzentriert zu widmen und sich danach auch wieder behutsam von ihr zu verabschieden. Neurobiologisch betrachtet heißt das: Zuerst das zuständige Netzwerk aufwärmen, es dann aktiv halten und schließlich in Ruhe nacharbeiten lassen.

Selbst wenn das Gehirn jedem Supercomputer in bestimmten Bereichen weit überlegen ist – auch seine Leistungsfähigkeit hat Grenzen. Das Nadelohr scheint dabei der Übergang vom Kurz- ins Langzeitgedächtnis zu sein. Jeder Sinneseindruck, den das Aufmerksamkeitssystem für relevant erachtet, landet zunächst im Kurzzeitgedächtnis. Eine länger anhaltende Verankerung im Gehirn hängt davon ab, wie stark der Eindruck für das Gehirn war, und ob es sich weiter damit beschäftigt. Sie erfordert chemische und elektrische Veränderungen, welche die zunächst nur lose geknüpften synaptischen Kontakte verstärken. Aus den zusammengeschalteten Nervenbahnen wird nach und nach ein Muster von soliden Verbindungen, die so genannten Engramme. Sie bilden das Langzeitgedächtnis.

Diesen Vorgang stören jedoch die vielen anderen Informationen, die gleichzeitig in die grauen Zellen dringen. Kein Wunder, dass Menschen am effektivsten lernen, wenn sie sich ganz auf eine Sache konzentrieren. Neurobiologisch betrachtet sind die ungeliebten Hausaufgaben durchaus sinnvoll, denn – hoffentlich möglichst ungestört – Wiederholungen des Lernstoffs fördern die Bildung von Engrammen.

Fast noch wichtiger ist der Faktor Zeit. Bis sich die Verbindungen zwischen den entsprechenden Nervenzellen bei Lernvorgängen tatsächlich stabilisieren oder abschwächen, vergehen viele

Stunden. Wie lange diese Konsolidierungsphase dauert, können Hirnforscher heute noch nicht mit Sicherheit sagen. Sie gehen jedoch davon aus, dass es wenig bringt, gerade zu dem Zeitpunkt etwas Neues zu büffeln, an dem das Gehirn das zuvor Gelernte gerade mit voller Kraft konsolidiert. Denn dann überlagern sich die Inhalte, was ihre neuronale Fixierung stört. Intervallweises Lernen ist dagegen sehr viel sinnvoller, und die Didaktik sollte das auch vermehrt berücksichtigen. Während einer kleinen Pause oder entspanntem Spielen kann das Kinderhirn davor aufgenommenen Lernstoff ungestört abspeichern.

Ein weiterer Tipp der Hirnforschung an die Pädagogen: Je vielschichtiger eine Information vermittelt wird, desto besser bleibt sie im Langzeitgedächtnis haften. Es lernt sich leichter, wenn möglichst viele Sinnesorgane mitmachen. Da alle Neurone gleichermaßen über elektrische Impulse miteinander kommunizieren, ist es gleichgültig, ob sie durch Sehen, Fühlen, Hören, Bewegen oder bloßes Nachdenken aktiviert werden.

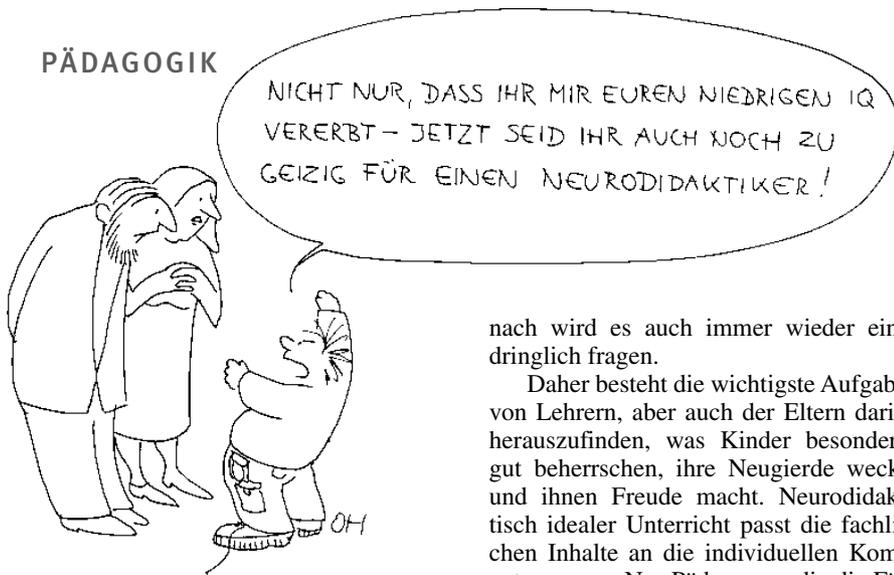
MENSCHEN MIT NUR EINEM AUGE

Wie effektiv vielgleisiges Lernen ist, zeigt unser Kindergarten-Projekt »Entdeckungen im Zahlenland«. Hier erfahren die Kinder jede Woche eine Stunde lang die abstrakte und symbolische Welt der Mathematik als ein buntes Land, das zu Entdeckungsreisen einlädt. So richten die Kinder im Zahlenhaus jeder Zahl von eins bis zehn eine Wohnung ein – mit Hausnummern und Bildern, Bällen und Bauklötzen, jeweils in der passenden Anzahl (siehe Bild Seite 66). Eine der Zahlen wird zur »Zahl des Tages« ernannt, zu der Fantasiegeschichten aus ihrem Reich erzählt werden, in dem es beispielsweise alle Dinge nur einmal gibt und alle Menschen nur ein Auge und einen Fuß haben. Auf dem »Zahlenweg« können die Kinder die Zahlen Schritt für Schritt kennen lernen. Zu den einzelnen Zahlen lösen sie Rätsel, sagen Abzählreime auf, singen Lieder und tanzen. Nach zehn Sitzungen beherrschen die meisten der Kleinen viele Aspekte der Zahlen spielend, während die Lehrpläne der Grundschule dafür einen großen Teil des ersten Schuljahres vorsehen.

Hirnforscher können diesen Erfolg damit erklären, dass das Gedächtnis des Menschen über Assoziationen funktioniert. Ein Teilaspekt eines abgespeicherten Sachverhaltes reicht beim Erinnern aus, um die gesamte Information wieder ins Bewusstsein zu bringen. Bildlich gesprochen: Ziehen an einem Punkt des beteiligten neuronalen Netzes bringt das ►

MÄUSETRAINER:

Der Magdeburger Neurobiologe Henning Scheich untersucht Vorgänge im Gehirn von Rennmäusen beim Lernen.



gesamte Netz zum Vorschein. Wird der Lernstoff dem Gehirn in möglichst vielen Zusammenhängen präsentiert, erhöht sich die Zahl der Punkte, an denen sich im Bedarfsfall ziehen lässt. Je vielfältiger also die Information im Unterricht daherkommt, desto besser.

Doch fordern Hirnforscher auch konstante Bedingungen und gleich bleibende äußere Formen. Das Gehirn benötigt eine gewisse logische Ordnung zum Speichern und Abrufen von Gedächtnisinhalten. Didaktische Konzepte, die dies nicht berücksichtigen, erschweren das Lernen unnötig.

Aus der Arbeitsweise des Gehirns ergibt sich auch das wohl wichtigste Prinzip der Neurodidaktik: die Kinder nach ihren individuellen Begabungen und Talenten lernen lassen. Bei dieser so genannten Kompetenzpädagogik entscheidet nicht der Lehrplan darüber, was gelernt werden muss, sondern die persönlichen Fähigkeiten der Kinder. Nicht nur Erziehungswissenschaftler, sondern auch viele Neurobiologen gingen lange Zeit davon aus, dass alle Menschen mit gleichen Lernvoraussetzungen zur Welt kommen. Mittlerweile ist jedoch bekannt, dass die kognitiven Rahmenbedingungen als Potenzial genetisch vorgegeben sind. Sie entfalten sich jedoch erst in einer Wechselwirkung mit der Umwelt, also durch Lernen.

Jedes Kind besitzt sein eigenes Paket an Entwicklungsmöglichkeiten, hat seine besonderen Talente, aber auch seine individuellen Schwächen. Das Informationssystem Gehirn weiß offenbar, wo die Stärken seines Besitzers liegen, und versucht diese durch gezieltes Fragen zu erschließen und auszubauen. Die manchmal unermesslich erscheinende kindliche Wissbegier ist also keineswegs willkürlich und ziellos, sondern wird durch die persönlichen Begabungen gelenkt. Ein Kind interessiert das am meisten, was es bereits am besten kann, und genau da-

nach wird es auch immer wieder eindringlich fragen.

Daher besteht die wichtigste Aufgabe von Lehrern, aber auch der Eltern darin herauszufinden, was Kinder besonders gut beherrschen, ihre Neugierde weckt und ihnen Freude macht. Neurodidaktisch idealer Unterricht passt die fachlichen Inhalte an die individuellen Kompetenzen an. Nur Pädagogen, die die Fähigkeiten ihrer Schüler kennen, können dem lernenden Gehirn das Futter geben, nach dem es verlangt.

DER FLASCHENZUG GEHT VOR

Das heißt nicht, dass Kinder nur noch in einigen wenigen Lieblingsgebieten unterrichtet werden sollen und der Rest unter den Tisch fällt. Die Kompetenzpädagogik möchte nicht die Allgemeinbildung abschaffen, sondern den Wissensdrang der Kinder auf ihren Spezialgebieten fördern. Sicherlich sollte jedes Kind am Ende der Grundschule lesen und schreiben können und ein Abiturient vom Dreißigjährigen Krieg gehört haben. Die Frage ist eher, ob bestimmte Lerninhalte zu einem festen Zeitpunkt unbedingt gelernt sein müssen, damit der Lehrplan erfüllt und das Klassenziel erreicht ist. Lehrer sollten dem Gehirn nicht ständig Prioritäten aufzwingen, etwa nach dem Motto »du willst zwar gerade wissen, wie ein Flaschenzug funktioniert; aber der Lehrplan sagt, dass du jetzt expressionistische Gedichte interpretieren musst«. Wenn das geschieht, verkümmern die angeborenen Talente und Interessen. Die anderen Gebiete, die damit eigentlich gefördert werden sollen, profitieren davon jedoch nur wenig – hier hemmen sowohl mangelnde Begabung als auch geringe Motivation den Lernerfolg.

Lernen heißt auch, eigene Wege zu gehen, etwas zu erforschen und auszuprobieren. Das ist nur möglich, wenn das Korsett des Lehrplans nicht zu sehr einschnürt und Lehrer ihre Schüler individuell fördern und beurteilen können. Schule muss Lust aufs Lernen machen. Die stellt sich in der Regel mit dem Gefühl ein, etwas zu können und zumindest in bestimmten Bereichen besonders kompetent zu sein.

Wer Vertrauen in die eigenen Fähigkeiten hat, kann aber auch mit dem einen oder anderen Defizit besser umgehen. »Mit Kopf, Herz und Hand« – so läuft

nach Auffassung des schweizerischen Pädagogen Johann Heinrich Pestalozzi (1746–1827) ideales Lernen ab. Die Forschungsergebnisse der modernen Neurowissenschaft geben dem Reformpädagogen recht. Heute wissen wir, dass das Gehirn die drei Aspekte Denken, Fühlen und Handeln zu einer Gesamtheit zusammenführt. Es gilt nun, den Kindern in Kindergärten und Schulen das nötige Wissen so zu vermitteln, wie es der Arbeitsweise des Gehirns entspricht. Das gelingt aber nur, wenn Lehrer und Erzieher verstehen, wie Lernvorgänge neurobiologisch ablaufen. Hirnforschung und Erziehungswissenschaften müssen daher enger zusammenarbeiten. Wir hoffen, mit der Neurodidaktik dazu einen ersten Schritt getan zu haben.

Neugierde, Interesse, Freude und Motivation sind die Voraussetzungen dafür, überhaupt etwas zu lernen. Diese muss unser Bildungssystem schaffen, fördern und festigen – und zwar nicht erst in der Grundschule, sondern bereits davor. Der Blick ins Gehirn zeigt: Jeder Mensch möchte lernen, und zwar von der ersten Sekunde an ein Leben lang. Neurodidaktik bedeutet deshalb nicht nur, Lernmethoden zu entwickeln, die die Neurobiologie des kindlichen Gehirns berücksichtigen, sondern auch an Lernbereitschaft als grundlegende menschliche Eigenschaft zu glauben. »Disco, ergo sum« – ich lerne, also bin ich. Unter diesem Motto sollte es gelingen, die Bildungskatastrophe zu überwinden. ♦



GERHARD FRIEDRICH (links) ist promovierter Pädagoge. GERHARD PREISS ist Professor für Didaktik der Mathematik an der Pädagogischen Hochschule Freiburg.

Literaturtipps

Friedrich, G.: Die Praktikabilität der Neurodidaktik. Ein Analyse- und Bewertungsinstrument für die Fachdidaktik. Frankfurt am Main: Peter Lang 1995.

Lurija, A. R.: Das Gehirn in Aktion. Reinbek: Rowohlt 1996.

Peterßen, W. H.: Lehrbuch Allgemeine Didaktik. München: Oldenbourg 2001 (6. Auflage).

Preiß, G. (Hg.): Neurodidaktik. Theoretische und praktische Beiträge. Herbolzheim: Centaurus 1998.