

Maria Klatte

Gehirnentwicklung und frühkindliches Lernen

Wir Menschen sind weder besonders schnell, noch stark, noch können wir besonders gut hören oder sehen. Unser Vorteil gegenüber allen anderen Spezies liegt einzig in der Denk- und Lernfähigkeit, über die wir durch unser Gehirn verfügen. Jeder Lernprozess, auch das Lesen dieses Textes, bewirkt Veränderungen im Gehirn. In den letzten Jahrzehnten ist es zu beträchtlichen Erkenntnisfortschritten bezüglich der neurobiologischen Grundlagen des Lernens gekommen. Neurowissenschaftlich orientierte Beiträge zur Bildungsdiskussion erfreuen sich bei Pädagoginnen und Pädagogen großer Beliebtheit. Die Übertragung von neurobiologischen Erkenntnissen auf den Bildungsbereich kann aber auch zu Verunsicherungen und Fehlinterpretationen führen. Was bedeuten Berichte über „sensible Phasen“ und „neuronalen Plastizität“ in der frühen Kindheit für die pädagogische Praxis? Gilt es wirklich, unwiederbringlich dahinscheidende Lernpotenziale optimal auszunutzen? Mit diesem Beitrag soll versucht werden, Orientierungshilfe zu leisten.

Das Gehirn wundert sich über sich selbst

Das menschliche Gehirn ist ein gigantisches Netzwerk, das aus schätzungsweise 100 Milliarden Nervenzellen besteht – dies sind etwa so viele, wie es Sterne in der Milchstraße gibt. Jede Nervenzelle (*Neuron*) ist mit anderen Zellen verbunden – im Schnitt mit etwa 10.000. Über die feinen Verästelungen der *Dendriten* empfängt die Zelle Informationen von anderen (vgl. Abb. 1). Diese Impulse werden durch eine röhrenförmige Übertragungsbahn, das *Axon*, weitergeleitet. Dies geschieht durch kurzfristige elektrische Ladungen, die am Axon entlanglaufen; man bezeichnet sie als *Aktionspotenziale*. Axone können winzig sein, aber auch eine Länge von über einem Meter erreichen. Lange Axone sind von einer fetthaltigen Substanz umgeben, die als *Myelinscheide* bezeichnet wird. Sie stellt eine Art Isolationsschicht für die Zelle dar. Die Geschwindigkeit der Reizweiterleitung hängt vom Durchmesser und der Myelinisierung der Axone ab, sie reicht von etwa 0,5 bis 120 Metern pro

Sekunde. An den Enden verzweigt sich das Axon zu den *präsynaptischen Endknöpfchen*. Über die *Synapsen* wird die neuronale Erregung an andere Zellen weitergeleitet. Die Erregungsübertragung erfolgt durch chemische Botenstoffe, sogenannte Neurotransmitter. Die Bekanntesten sind Acetylcholin, Dopamin, Adrenalin, Noradrenalin sowie Serotonin und GABA (Gamma-Aminobuttersäure).

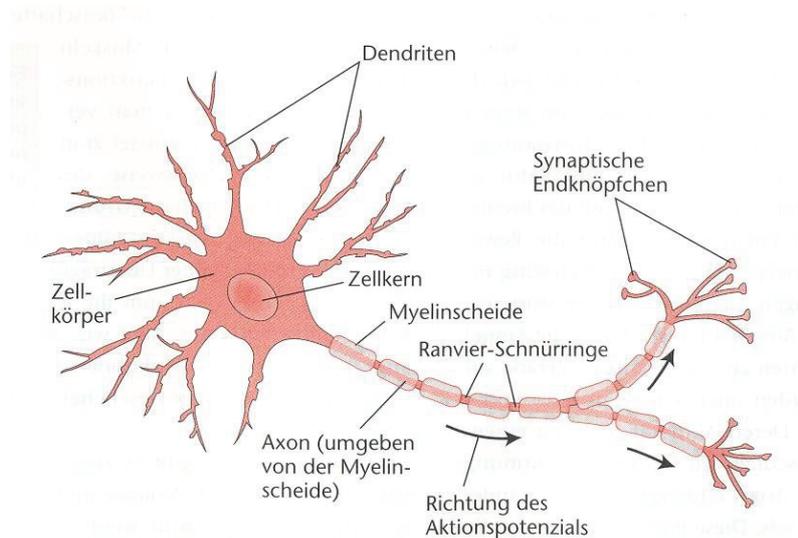


Abb. 1: Schemazeichnung eines Neurons (Quelle: Grabowski/ van den Meer 2001, 36)

Die an der Synapse freigesetzten Neurotransmitter können erregend oder auch hemmend auf das postsynaptische Neuron einwirken. Im Normalzustand besteht ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Hemmungs- und Erregungsprozessen. Ist dieses Gleichgewicht gestört, so können Erkrankungen wie Schizophrenie, Depression, Epilepsie, die Parkinsonsche Krankheit oder auch Aufmerksamkeitsstörungen die Folge sein. Die medikamentöse Therapie dieser Erkrankungen erfolgt durch Psychostimulantien, die auf den Neurotransmitter-Haushalt einwirken. Ein bekanntes Beispiel ist der zur Behandlung des Aufmerksamkeitsdefizit-Syndroms (ADS) eingesetzte Wirkstoff Methylphenidat (Handelsnamen „Ritalin“, „Medikinet“), der in den Dopamin-Haushalt eingreift.

Anatomischer Aufbau des Gehirns

Das menschliche Gehirn wiegt etwa 1,3 Kilogramm, hat die Konsistenz eines weich gekochten Eis und ist klein genug, um auf einer Handfläche Platz zu finden. Obwohl sein Gewicht nur etwa zwei Prozent des Körpergewichts eines Erwachsenen beträgt, verbraucht es mehr als zwanzig Prozent des gesamten Energiebedarfs. Das Gehirn besteht aus drei miteinander verbundenen Bereichen, dem Hirnstamm, dem limbischen System und dem Großhirn mit der Großhirnrinde, dem zerebralen Kortex (vgl. Abb. 2).

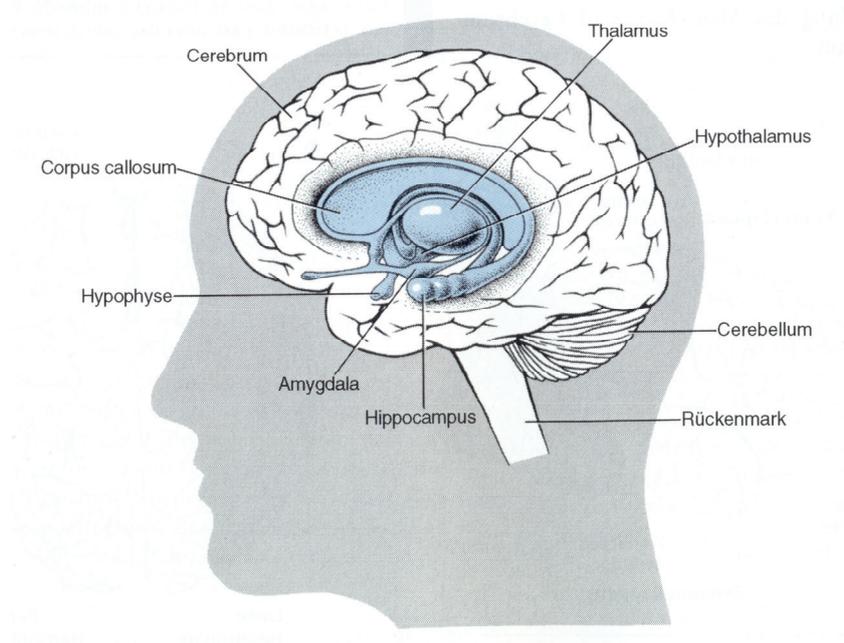


Abb. 2: Schematische Darstellung des Gehirns: Großhirnrinde und tiefer liegende Strukturen des limbischen Systems (Quelle: Zimbardo/ Gerrig 2004, 71)

Der Hirnstamm oder auch „zentraler Kern“ ist der älteste Teil des Gehirns. Seine Strukturen sind für die Steuerung grundlegender, lebensnotwendiger Funktionen wie Husten, Schlucken, Atmen, Schlafen, Essen, Trinken, die Körperhaltung und die Temperaturregulation verantwortlich. Der Hirnstamm beginnt dort, wo das Rückenmark in den Schädel eintritt. Diesen Bereich nennt man Medulla oblongata (verlängertes Rückenmark). Weiterhin gehören

zum Hirnstamm die Brücke (Pons), das Mittelhirn sowie das Kleinhirn (Cerebellum), eine gefaltete Struktur an seiner Rückseite. Das Kleinhirn besteht aus zwei Hälften und sieht tatsächlich wie ein kleines Gehirn aus. Es spielt eine große Rolle bei der Bewegungskoordination. Der Thalamus wird auch als „Tor zum Cortex“ bezeichnet. Er empfängt Informationen von den verschiedenen Sinnessystemen und leitet sie an diejenigen kortikalen Areale weiter, in denen sie verarbeitet werden.

Das limbische System besteht aus verschiedenen Strukturen, die ringförmig um den zentralen Kern herum angeordnet sind. Hierzu gehören unter anderem der Hippocampus, der für die Gedächtnisspeicherung von maßgeblicher Bedeutung ist, und der Mandelkern (Amygdala). Der Mandelkern beeinflusst Gefühle wie Angst, Wut und Aggression. Er verfolgt unsere geistigen Aktivitäten und Wahrnehmungen und kann die höheren und niederen Hirnregionen sofort alarmieren, wenn ein emotional bedeutendes Ereignis eintritt – sei es real oder vorgestellt (etwa der Gedanke an eine anstehende Prüfung). Er trägt auch dazu bei, dass wir bei Gefahr sehr schnell reagieren können. Unser Körper wird in Alarmbereitschaft versetzt und initiiert Flucht- oder Abwehrverhalten, noch ehe der auslösende Reiz vollständig verarbeitet wurde. Läuft beispielsweise vor uns plötzlich ein Kind auf die Straße, so erschrecken wir und treten auf die Bremse, noch bevor wir genau realisiert haben, was eigentlich passiert. Würden wir in solchen Situationen erst abwarten, bis unsere kortikalen Hirnareale die Situation abschließend analysiert und bewertet haben, wäre der Unfall längst eingetreten. Die schnelle und unwillkürliche Reaktion wird möglich, da der Thalamus Informationen über den nur rudimentär analysierten Reiz an den Mandelkern leitet, der sofort eine emotionale Bewertung vornimmt und gegebenenfalls eine Alarmreaktion auslöst.

Das Großhirn besteht aus den beiden Hirnhälften oder Hemisphären, die durch ein mächtiges Faserbündel, das Corpus callosum (Balken), miteinander verbunden sind. Betrachten wir das Gehirn von oben, so sehen wir die Großhirnrinde (zerebraler Kortex), eine mehrere Millimeter dicke, gefaltete Struktur aus Kämmen (Gyri, Singular: Gyrus) und Furchen oder Fissuren (Sulci, Singular: Sulcus), ähnlich einer Walnuss. Diese Faltung ist notwendig, da die Gehirnmasse sonst einen Schädelumfang benötigen würde, der für uns im wahrsten Wortsinne untragbar wäre – wir würden vornüber kippen. Der Kortex ist die phylogenetisch jüngste Hirnstruktur und Grundlage der geistigen Fähigkeiten, die uns von allen anderen Arten unterscheiden; hierzu gehören das Denken, das zielgerichtete Planen und natürlich die Sprache.

Die Oberfläche jeder der beiden Hemisphären besteht aus vier Abschnitten oder Lappen, die durch Furchen getrennt sind, dem Stirn- oder Frontallappen, dem Scheitel- oder Parietallappen, dem Hinterhaupt- oder Okzipitallappen und dem Schläfen- oder Temporallappen (vgl. Abb. 3).

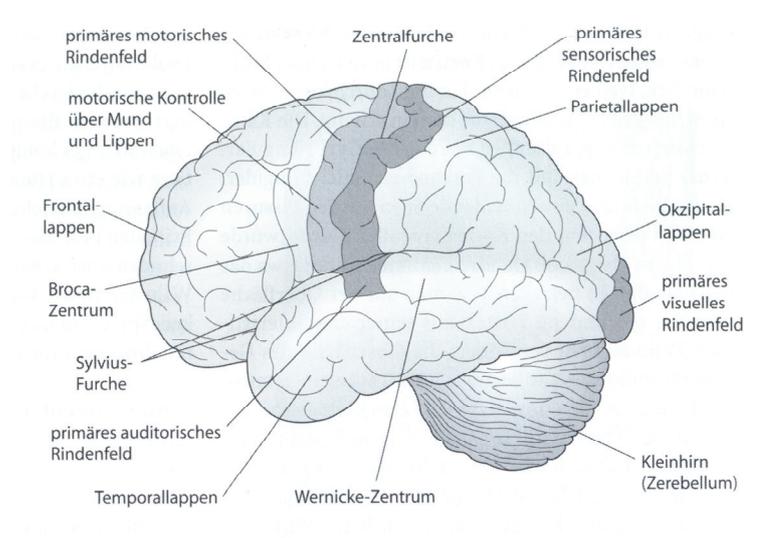


Abb. 3: Die wesentlichen Areale des zerebralen Kortex beim Menschen (Quelle: Solso 2005, 44)

Einigen Bereichen auf diesen Hirnlappen können sehr spezifische Funktionen zugeordnet werden. Die Informationen von den Augen werden im visuellen Kortex im Okzipitallappen verarbeitet, akustische Reize in den Hör- und Sprachzentren des Temporallappens. Eine bogenförmige Region am hinteren Teil des Frontallappens, der motorische Kortex, steuert die Körperbewegungen der jeweils gegenüberliegenden (kontralateralen) Körperhälfte. Parallel dazu im Parietallappen liegt der sensorische Kortex. Er ist für die Empfindungen von der kontralateralen Körperhälfte zuständig. Je sensitiver eine Körperregion ist, desto größer ist der Abschnitt des sensorischen Kortex, der diese Region repräsentiert. So nehmen die Lippen einen größeren Raum ein als beispielsweise die Zehen. Analog verhält es sich mit dem motorischen Kortex. Körperteile wie Finger und Mund, die sehr präzise Bewegungen ausführen müssen, nehmen das größte Areal ein.

Der vordere Frontallappenbereich (präfrontaler Kortex) wird oft als „Sitz der geistigen Reife“ bezeichnet. Er ist für das zielgerichtete, vorausschauende Handeln, das Auswählen von Strategien und die Impulskontrolle von großer Bedeutung. Schädigungen in diesem Bereich führen dazu, dass die Patienten ein rigides Verhalten zeigen – auch bei Änderung der Aufgabenstellung beharren sie auf der einmal eingeschlagenen Strategie. Sie sind kaum in der Lage, ihr Verhalten an wechselnde Umwelthanforderungen anzupassen und vorausschauend zu handeln. Darüber hinaus kommt es zu massiven Veränderungen der Persönlichkeit. Ein berühmter Fall ist der des Phineas Gage, eines Schienenarbeiters, der bei einem Arbeitsunfall im Jahre 1848 einen beträchtlichen Teil des präfrontalen Hirnareals einbüßte. Seine motorischen und sprachlichen Fähigkeiten blieben nahezu unversehrt, sein Wesen wandelte sich jedoch von einem kooperativen, zuverlässigen und umgänglichen Menschen zu einem aufbrausenden, rücksichtslosen, unbeständigen und starrsinnigen Zeitgenossen – er endete als Attraktion auf einem Jahrmarkt. Der präfrontale Kortex spielt eine wesentliche Rolle bei der Kontrolle und Regulation emotionaler Zustände, die von unserem „Gefühlszentrum“ im limbischen System ausgehen; diese Kontrollinstanz war bei Gage zerstört.

Sprache und Gehirn

Die Sprache ist bei über 95 Prozent der Menschen – auch bei den meisten Linkshändern – in der linken Hemisphäre lokalisiert. Bereits um 1865 erkannte der französische Mediziner Paul Broca, dass Patienten, die eine Hirnschädigung im Bereich der linken Hirnhälfte erlitten hatten, extreme Ausfälle der Sprache zeigten. Bei Patienten, deren rechte Hirnhälfte geschädigt war, traten solche Störungen dagegen nicht auf. Das nach seinem Entdecker benannte Broca-Areal befindet sich im hinteren Teil des Frontallappens. Inzwischen wissen wir, dass dieses Gebiet besonders für die Verarbeitung der Syntax und die flüssige Sprachproduktion bedeutend ist. Patienten mit einer Broca-Aphasie sprechen nur wenig, es kostet sie große Anstrengung. Auch reden sie im Telegrammstil – konjugierte Verben, Funktions- und Bindewörter werden kaum gebraucht. Das Verständnis komplexer Sätze wie Passivformen ist oft nicht möglich. Etwa zehn Jahre später wurde von dem deutschen Wissenschaftler Karl Wernicke ein weiteres sprachrelevantes Hirnareal beschrieben, das sich im linken Temporallappen hinter dem primären auditorischen Kortex befindet. Das Wernicke-Areal ist für die Verarbeitung der Semantik notwendig, es fungiert als eine Art geistiges Wörterbuch. Patienten mit Hirnläsionen in diesem Bereich sprechen zwar gern, viel und flüssig, ihre

Äußerungen erscheinen jedoch desorganisiert und bedeutungslos. Sie benutzen häufig falsche Wörter oder erfinden ganz neue Wörter. Auch das Sprachverstehen ist stark gestört. Broca- und Wernicke-Areal sind durch ein Faserbündel (Fasciculus arcuatus) verbunden. Unterbrechungen dieser Verbindung können ebenfalls zu schweren Sprachstörungen führen.

Neben den hier beschriebenen Arealen sind noch viele weitere für die Sprachverarbeitung von Bedeutung. Auch die rechte Hirnhälfte ist daran beteiligt, insbesondere hinsichtlich der Intonation und Prosodie und deren Interpretation. Generell muss betont werden, dass komplexe geistige Funktionen meist erst durch das Zusammenspiel verschiedener Hirnareale möglich werden.

Die Entwicklung des Gehirns

Die weitaus meisten Nervenzellen werden schon in der ersten Hälfte der Schwangerschaft gebildet, in dieser Phase entstehen pro Minute (!) etwa 500.000 Nervenzellen. Dennoch ist das Gehirn bei der Geburt noch sehr unvollkommen. Wie Abb. 4 zeigt, stehen die Nervenzellen beim Neugeborenen isoliert nebeneinander – sie können nicht kommunizieren.

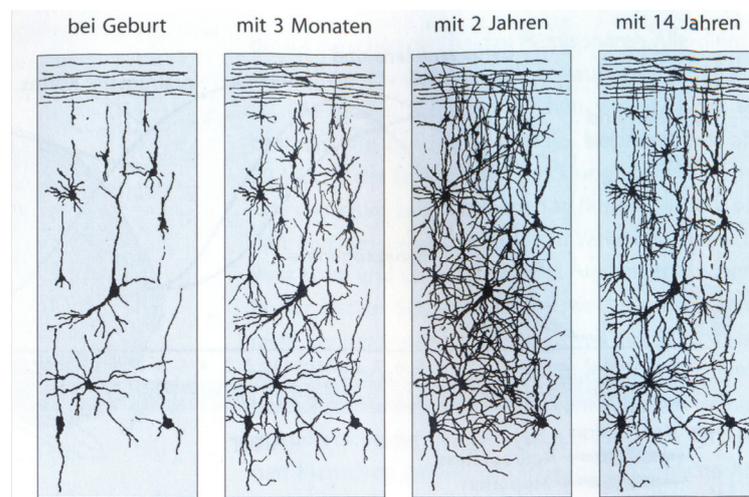


Abb. 4: Wachstum und Rückgang synaptischer Verbindungen während der postnatalen Entwicklung (Quelle: Petermann 2004, 91)

In dieser Form sind die Zellen nahezu funktionslos. Die Situation ist vergleichbar der im Internet, wenn es keine Verbindungen zwischen den unzähligen Rechnern gäbe: Das Kommunikationspotenzial ist vorhanden, es kann aber nicht genutzt werden.

Während der ersten drei Lebensjahre kommt es zu einem enormen Wachstum von Verbindungen zwischen den Neuronen. Es bilden sich Dendriten, über die die Zellen Informationen von anderen aufnehmen, und synaptische Verbindungen, durch die Informationen an andere Zellen weitergeleitet werden. Etwa 80 Prozent des Dendritenwachstums findet erst nach der Geburt statt. In diesem Prozess – man bezeichnet ihn als Synaptogenese – werden weit mehr Verbindungen hergestellt, als eigentlich benötigt werden; das Ergebnis ist ein recht ungeordneter und wenig effizienter Schaltplan. Im Verlaufe der weiteren Entwicklung wird etwa die Hälfte dieser Verbindungen wieder abgebaut. Tatsächlich liegt die biologische Grundlage der kognitiven Entwicklung nicht in der Zunahme, sondern primär in der Selektion und Auslöschung nicht benötigter Synapsen. Einfach gesagt reift das Gehirn in aufsteigender Ordnung. Die für die lebenserhaltenden Funktionen notwendigen Strukturen des Hirnstamms sind schon bei der Geburt vollständig ausgebildet. Der Kortex reift am langsamsten und unregelmäßigsten. Die sensorischen Bereiche des Kortex sind als erste ausgereift. Die Synapsendichte erreicht im primären auditorischen Kortex bereits im ersten Lebensmonat ihren Höhepunkt, im visuellen Kortex mit drei bis vier Monaten. Die motorischen Systeme entwickeln sich etwas später. Der Zeitverlauf des Auslichtens von Synapsen zeigt noch deutlichere Unterschiede zwischen den Hirnarealen. In den für die komplexen geistigen Funktionen zuständigen kortikalen Hirnarealen dauert dieser Prozess viele Jahre an. Besonders lange Zeit benötigt die Entwicklung im präfrontalen Kortex. Hier setzt sich die Auslese von Synapsen und Bildung von Myelinscheiden bis ins junge Erwachsenenalter hinein fort. Kinder im Vor- und Grundschulalter sind allein von den hirnorganischen Voraussetzungen her noch nicht in der Lage, ihr Verhalten in jedem Moment zu kontrollieren. Trotz sorgfältigster Aufklärung über die Gefahren besteht immer das Risiko, dass sie unbedacht auf die Straße laufen, wenn der Ball dorthin rollt oder auf der gegenüberliegenden Seite der Freund oder die Freundin auftaucht. Genauso wenig können wir von Schulanfängern erwarten, dass sie ihr Lernverhalten selbstständig steuern und überwachen können. Hierzu gehört die Fähigkeit, planvoll und zielgerichtet an Aufgaben heranzugehen, Belohnungen aufzuschieben (etwa das Computerspiel erst nach Erledigung der Hausaufgaben einzuschalten), Lernstrategien auszuwählen und erfolg-

reich einzusetzen und eigene Stärken und Schwächen realistisch einzuschätzen. Grundschullehrkräfte (insbesondere diejenigen, die offene Unterrichtskonzepte mit Freiarbeit und Wochenplänen umsetzen) wissen, welche unterschiedlichen Voraussetzungen Kinder gerade in diesem Bereich mitbringen. Generell gilt: Die verschiedenen Stadien der kortikalen Entwicklung zeigen interindividuell sehr unterschiedliche Zeitverläufe. Genetische Faktoren und Lernerfahrungen wirken dabei in untrennbarer Weise zusammen. Lernangebote müssen folglich *individuell* auf die Fähigkeiten und Bedürfnisse jedes einzelnen Kindes abgestimmt werden (vgl. Singer 2002). Es ist nicht sinnvoll, Kinder gleich zu behandeln, nur weil sie einer bestimmten Altersgruppe angehören – eine für Pädagogen nicht neue Schlussfolgerung. Die Neuordnung der synaptischen Organisation in den verschiedenen Gehirnarealen geht mit einem erhöhten Glukoseverbrauch in den jeweiligen Arealen einher. Bei Neugeborenen ist der Glukoseverbrauch im Kortex relativ gering, die Hirnaktivität ist vorwiegend auf die unteren Hirnstrukturen (Hirnstamm, Kleinhirn, Thalamus) konzentriert. Dies ändert sich schon in den ersten Lebensmonaten dramatisch, in dieser Zeit sind die sensorischen Areale besonders aktiv. Im Alter zwischen vier und sieben Jahren verbraucht das Gehirn zeitweilig doppelt soviel Energie wie das eines Erwachsenen. Danach folgt ein kontinuierlicher Rückgang bis zum Alter von etwa 15 Jahren. Der für die Gehirnentwicklung grundlegende Prozess des Auslesens von Synapsen scheint besonders viel Energie zu benötigen. Welches Muster von Verschaltungen dabei letztlich entsteht, hängt in hohem Maße von den Erfahrungen des Kindes in seiner Umwelt ab. Hierbei gilt das Prinzip „use it or lose it“: Verbindungen, die nicht gebraucht werden, werden abgebaut; Verbindungen, die häufig aktiviert werden, werden gestärkt. Neurowissenschaftlich gesehen bedeutet Lernen die Veränderung von Verbindungen zwischen Nervenzellen im Gehirn.

Neuronale Plastizität

Das Prinzip der „Überschussproduktion“ von Verbindungen ermöglicht eine schnelle und flexible Anpassung des jungen Organismus an eine komplexe Umwelt. Der Überschuss an Synapsen ermöglicht es dem Gehirn, sich in viele verschiedene Richtungen zu entwickeln – welche eingeschlagen wird, hängt von den Umweltbedingungen ab. Das Gehirn ist darauf angelegt, sich seiner Umwelt in optimaler Weise anzupassen – man bezeichnet dies als „neuronale Plastizität“. Eindrucksvolle Beispiele hierfür liefern Untersuchungen zur Wahrnehmung von Gesichtern oder von Sprachlauten.

Säuglinge haben von Anfang an großes Interesse an diesen Reizen, sie wenden sich ihnen mit Vorliebe zu (dies zeigt, dass das Gehirn sich in dieser Phase keineswegs passiv an jedweden Input anpasst, sondern sich selbst die Inputs sucht, die es für die anstehenden Entwicklungsschritte benötigt. Das inhärente Interesse an Gesichtern und Sprachlauten ist für den Aufbau einer Bindung an die Bezugspersonen von großer Bedeutung). Säuglinge können zunächst alle möglichen Formen von Gesichtern gleich gut unterscheiden, sie erkennen auch die Unterschiede zwischen Affengesichtern, die Erwachsenen völlig gleich erscheinen. Ähnlich verhält es sich mit Sprachlauten. Kinder im Alter zwischen zwei und acht Monaten sind erstaunlich gut in der Lage, ähnlich klingende Sprachlaute aus verschiedenen Lautsystemen zu unterscheiden. So können japanische Säuglinge die englischen Laute /r/ und /l/ unterscheiden, während ihren Eltern dies nicht mehr gelingt. Im Verlaufe des zweiten Lebenshalbjahres verändern sich diese Leistungen rapide. Die Fähigkeit, Unterschiede zwischen menschlichen Gesichtern und Lauten der Muttersprache zu erkennen, verbessert sich, während Affengesichter und nicht-muttersprachliche Laute immer schlechter differenziert werden können (vgl. Kuhl u. a. 2006, vgl. auch Blakemore/ Frith 2005, 28).

Das Gehirn ist bei der Geburt bereit, mit allen möglichen Lautsystemen bzw. Gesichterformen umzugehen. In den ersten Lebensmonaten stimmt es sich sozusagen selbst auf diejenigen ein, die in seiner Umwelt bedeutend sind. Dies sind in der Regel Gesichter von Menschen, nicht von Affen und beim japanischen Kind japanische Sprachlaute, keine englischen. Natürlich wird die ursprüngliche Flexibilität durch diesen Prozess reduziert, andererseits ermöglicht er dem Gehirn, mit den relevanten Informationen effizienter und präziser umzugehen. Die Konzentration auf das Wesentliche bedeutet eine immense Datenreduktion und macht eine schnelle und genaue Verarbeitung erst möglich. Blakemore und Frith (2005, 30) veranschaulichen dieses Prinzip an folgendem Beispiel: Stellen Sie sich vor, Sie erwerben eine neue Waschmaschine, die mit unzähligen Einstellungsmöglichkeiten für Waschpulver, Stoffarten, Wasserhärten, Farben etc. versehen ist. Nach einer Reihe von Waschdurchgängen „merkt“ diese Maschine, welche Einstellungen tatsächlich gebraucht werden und richtet entsprechende Waschprogramme ein. Dies schränkt das anfängliche Funktionspotenzial ein, reduziert aber gleichzeitig die Fehlerquellen und erhöht die Geschwindigkeit der Programmabläufe.

Diese Maschine wird wahrscheinlich bis zu ihrem „Lebensende“ nach den einmal etablierten Einstellungen ablaufen; sie würde wertlos, wenn wir in

eine Region mit härterem Wasser umziehen. Ganz im Gegensatz dazu ist das junge Gehirn in der Lage, sich schnell an neue Umweltbedingungen anzupassen. So geht die Fähigkeit, die Lautsysteme fremder Sprachen zu erlernen, keineswegs vollständig verloren. Kleine Kinder können sich die Lautstrukturen anderer Sprachen sehr schnell aneignen. In einer diesbezüglichen Studie lernten drei- bis sechsjährige Kinder, die in einen bilingualen Kindergarten wechselten, innerhalb von zwei Monaten Lautkontraste der fremden Sprache zu diskriminieren (vgl. Cheour u. a. 2002).¹

Andere Beispiele für die Plastizität des kindlichen Gehirns stammen aus Studien über Kinder, die sich wegen schwerer Erkrankungen einer radikalen Hirnoperation unterziehen mussten oder eine Hirnverletzung erlitten. Hirnschädigungen, die bei Erwachsenen zu massivsten und irreversiblen Einschränkungen der Sprache oder anderer geistiger Funktionen führen, haben bei Kindern weit geringere Auswirkungen. So wurde über Kinder berichtet, die im Alter zwischen null und fünf Jahren eine schwere Schädigung der sprachrelevanten Areale in der linken Hirnhälfte erlitten (vgl. de Haan/ Johnson 2003, 11). Überraschenderweise lernten die meisten dieser Kinder problemlos zu sprechen und waren auch sonst nur wenig beeinträchtigt. Ein besonders beeindruckender Fall ist der eines Mädchens, dem im Alter von drei Jahren wegen einer lebensbedrohlichen Hirnerkrankung die linke Hemisphäre vollständig entfernt werden musste (vgl. Spitzer 2002, 15). Im Alter von sieben Jahren sprach das Kind zwei Sprachen fließend und zeigte bis auf eine geringe Spastizität der rechten Gliedmaßen keine Einschränkungen. Offensichtlich ist das Gehirn in der frühen Entwicklungsphase in der Lage, Schädigungen durch eine Neuorganisation ganz oder teilweise zu kompensieren. Funktionen, die normalerweise dem geschädigten Areal zugehören, werden von anderen Hirnbereichen übernommen.²

Diese Flexibilität geht spätestens im Jugendalter verloren, wann genau, hängt von der Lage und Funktion der betroffenen Hirnareale ab. Zwar weist das Gehirn auch im späteren Alter noch eine gewisse Plastizität auf, doch so

¹ Nach Bekanntwerden der Befunde über das polyglotte Talent von Kleinkindern sollen ehrgeizige Eltern versucht haben, diese Fähigkeiten durch das Vorspielen von Sprachkassetten zu fördern – vermutlich ohne Erfolg. Diesbezügliche Studien belegen, dass Kinder die Lautnuancen einer Sprache nur in der direkten Interaktion mit Eltern oder anderen Personen erlernen, nicht jedoch durch das passive Rezipieren von Hörkonserven (vgl. Kuhl u. a. 2003)

² Dies gilt jedoch nicht bei Schädigungen der präfrontalen Hirnareale. Diese scheinen sich im frühen Kindesalter sogar gravierender auszuwirken als bei Erwachsenen. Die betroffenen Kinder zeigen deutliche Defizite im Bereich der Intelligenzentwicklung (vgl. de Haan/ Johnson 2003, 12).

formbar wie in der frühen Kindheit ist es nie wieder. Am Ende des zweiten Lebensjahrzehnts ist eine stabile, effizient arbeitende „Datenautobahn“ entstanden, die jedoch viel weniger flexibel ist als das junge Gehirn. Wir merken dies, wenn wir im Erwachsenenalter versuchen, komplexe Fertigkeiten wie eine neue Sprache oder auch das Fahrradfahren oder ein Musikinstrument zu erlernen. Auch bei großer Anstrengung werden wir es nicht mehr zu perfektem Können bringen. Kinder lernen ganz anders – mühelos und nebenbei, ohne bewusste Lernabsicht erwerben sie innerhalb von wenigen Jahren eine oder sogar mehrere Sprachen und zahllose andere Fertigkeiten.

Gehirnentwicklung, Umwelt und sensible Phasen

Ein vieldiskutierter Aspekt der Forschung zur Hirnentwicklung bezieht sich auf so genannte kritische Perioden oder – vorsichtiger ausgedrückt – sensible Phasen. Allgemein gesagt sind hiermit Zeiträume gemeint, in denen ein Organismus auf bestimmte Umwelteinflüsse besonders stark reagiert und optimal darauf vorbereitet ist, auf der Grundlage dieser Einflüsse ein bestimmtes Verhalten zu erlernen. Während der sensiblen Phase vollzieht sich der Prozess der Reduzierung und Stabilisierung von Synapsen in bestimmten, anatomisch umgrenzten Hirnarealen sehr rapide. Diese Reorganisation gelingt aber nur, wenn das Gehirn in dieser Zeit den notwendigen sensorischen Input erhält.

Ein Meilenstein in der diesbezüglichen Forschung sind die Studien von Hubel und Wiesel aus den 60er Jahren. Diese Wissenschaftler untersuchten die Hirnentwicklung von Katzen, denen nach der Geburt ein Auge abgedeckt wurde. Nach drei Monaten wurde die Abdeckung entfernt. Das Auge, obgleich völlig unbeschädigt, war funktionell blind und blieb es auch. In der Zeit, während der das Auge abgedeckt war, hatten sich die für das Sehen notwendigen neuronalen Verschaltungen im visuellen Kortex herausgebildet. Da von dem abgedeckten Auge keine Signale empfangen wurden, waren nur die Verbindungen zum sehenden Auge gefestigt worden, dieses Auge besetzte sogar einen unverhältnismäßig großen Platzanteil auf dem Kortex. Die Abdeckung eines Auges bewirkte bei älteren Katzen, deren kortikale Entwicklung schon abgeschlossen war, keinerlei Einschränkungen. Diese Ergebnisse sind inzwischen vielfach bestätigt worden, wobei auch andere Tierarten einbezogen wurden. Offensichtlich gibt es in der Hirnentwicklung der Tiere einen eng umgrenzten Zeitraum, in dem der visuelle Kortex verdrahtet wird. Erhält das Gehirn in dieser Zeit nicht genügend sensorischen Input, so bleibt die Sehfähigkeit dauerhaft eingeschränkt.

Was bedeuten solche Befunde für das frühkindliche Lernen? Sind bestimmte Lernvorgänge tatsächlich nur innerhalb eines umgrenzten, sich irgendwann ein- für allemal schließenden „Zeitfensters“ möglich?

Diese Vorstellung kann jeden Pädagogen in Angst und Sorge versetzen. Glücklicherweise sind aber solche tierexperimentellen Befunde nur sehr begrenzt auf den Menschen übertragbar. Zunächst ist festzuhalten, dass die Versuchstiere durch intensives Training des vormals abgedeckten Auges einen Teil ihrer Sehfähigkeit wiedererlangten. Die Lernfähigkeit ist also keineswegs unwiederbringlich dahin. Weiterhin konnte die Existenz sensibler Phasen beim Menschen bislang nur in zwei Bereichen bestätigt werden – dem Sehen und der Sprache. Die Verschaltungen im visuellen Kortex entwickeln sich etwa bis zum Einschulungsalter, danach können keine Sehfunktionen mehr erworben werden. Bei Kindern, die mit einem schwächeren Auge geboren werden, deckt man das gesunde Auge zeitweise ab, damit sich auch die Verbindungen vom schwächeren Auge ausbilden können. Geschieht dies nicht, so besteht die Gefahr, dass das gesunde Auge die Verschaltungen dominiert und das schwächere Auge für immer funktionell erblindet. Das Zeitfenster für das räumliche Sehen ist besonders eng, es liegt zwischen dem dritten und dem sechsten Lebensmonat. Linsentrübungen oder Fehlstellungen der Augen müssen sehr frühzeitig behandelt werden, da sich das räumliche Sehen sonst nicht ausbilden kann.

Eine sensible Phase des Spracherwerbs haben wir bereits im Zusammenhang mit den Lautkategorien der Muttersprache kennen gelernt, auf die sich der Säugling schon im ersten Lebensjahr einstimmt. Wir haben aber auch gesehen, dass kleine Kinder durchaus auch nach dieser sensiblen Phase in der Lage sind, die Lautsysteme einer fremden Sprache zu erlernen; das Zeitfenster wird sozusagen angelehnt, aber nicht geschlossen.

Eine sensible Phase scheint es auch für den Grammatikerwerb zu geben. Kinder, die bis zum Jugendalter gänzlich ohne Sprache aufwachsen, scheinen nicht mehr in der Lage zu sein, die Grammatik einer Sprache zu erlernen (vgl. Curtiss 1989; vgl. auch Eliot 2003, 516ff.). Dies zeigen Berichte über „Wolfskinder“ und misshandelte Kinder, die ihr erstes Lebensjahrzehnt in völliger sozialer Isolation in kahlen Gefängnissen verbringen mussten. Auch bei intensivster Förderung waren diese Kinder nicht mehr in der Lage, einfache grammatische Regeln zu erwerben. Aufgrund der traumatischen Lebensumstände dieser Kinder sind solche Befunde jedoch nur bedingt interpretierbar.

Anders verhält es sich mit dem Fall Chelsea, einer jungen Frau, die in einer ganz normalen Familie in einer amerikanischen Kleinstadt aufwuchs. Chelsea war nahezu taub, allerdings wurde dieser Umstand erst im Erwachsenenalter erkannt. Sie hatte somit ihre gesamte Kindheit und Jugend ohne sprachlichen Input verbracht und auch die Gebärdensprache nicht erlernt. Als sie mit Hörgeräten versorgt wurde, gelang es ihr zwar, mit der Zeit einen ansehnlichen Wortschatz zu entwickeln, grammatische Regeln blieben ihr jedoch fremd.

Dies bedeutet nicht, dass wir generell ab der Pubertät keine neue Sprache mehr erlernen könnten – wir haben ja bereits eine Muttersprache erworben und daher wesentlich bessere Voraussetzungen als Menschen, die ohne Sprache aufwachsen. Es ist uns aber im Erwachsenenalter kaum mehr möglich, eine neue Sprache *so perfekt* zu lernen, dass uns ein Muttersprachler nicht entlarven könnte – wir sprechen mit deutlichem Akzent und auch die Grammatik macht uns große Mühe. Neue Wörter können wir dagegen in jedem Alter erlernen.

Die Fähigkeit, die Phonetik und Grammatik einer neuen Sprache zu erwerben, nimmt ab dem 7. Lebensjahr bis zum Jugendalter kontinuierlich ab, danach bleibt sie relativ konstant. Bei Kindern, die schon früh eine zweite Sprache erlernen oder zweisprachig aufwachsen, verarbeitet das Gehirn die Syntax beider Sprachen in denselben Hirnarealen. Beginnt der Zweitspracherwerb aber erst im Jugendalter, so behandelt unser Gehirn die Grammatik der neuen Sprache anders – sie wird in anderen Hirnarealen als die Muttersprache verarbeitet, was offenkundig mit mühevollerem und weniger effektivem Lernen einhergeht (vgl. Blakemore/ Frith 2005, 46). Das Fremdsprachenlernen in der Grundschule oder bereits in der Kindertagesstätte ist daher – neurowissenschaftlich gesehen – durchaus sinnvoll.³

³ Von Seiten der Bildungsforscher gibt es diesbezüglich jedoch begründete Kritik, die auch das Spannungsfeld zwischen den Neurowissenschaften und der Pädagogik und Psychologie sehr verdeutlicht. Die Neurowissenschaft zeigt zwar, dass der Fremdspracherwerb im frühen Alter effektiver verläuft, sie sagt aber nichts darüber aus, wie das Fremdsprachenlernen in KiTas und Grundschulen umgesetzt werden könnte bzw. ob dies in der derzeitigen Situation überhaupt angebracht ist. So weist die renommierte Wissenschaftlerin Elsbeth Stern vom Max-Planck-Institut für Bildungsforschung in Berlin darauf hin, dass eine Didaktik des frühen Fremdsprachunterrichts bislang weitgehend fehlt und unklar sei, inwieweit das, was derzeit in diesem Bereich praktiziert wird, überhaupt Effekte zeige. Statt Kräfte und Mittel für die Etablierung eines neuen Faches aufzuwenden, für das nicht einmal eine Didaktik existiert, solle man Prioritäten setzen und sich auf die Umsetzung bereits vorhandener, guter Konzepte in Basisfächern wie Mathematik und Sachunterricht konzentrieren (vgl. Expertendiskussion zum frühen Fremdspracherwerb in „Die Zeit“ 2006, Nr. 10, 37).

Sensible Phasen sind somit als Zeiträume anzusehen, in denen bestimmte Fähigkeiten besonders leicht und schnell erworben werden. Die Annahme, dieses Zeitfenster schließe sich irgendwann definitiv, konnte bislang nur für das Sehen und für bestimmte Aspekte des Spracherwerbs bestätigt werden. Die sensiblen Zeiträume sind beim Menschen generell wesentlich größer und unschärfer als die, die in Tierversuchen zur sensorischen Deprivation nachgewiesen wurden. Wie leicht es bei der Übertragung von Befunden aus der tierexperimentellen Forschung zu Überinterpretationen kommen kann, verdeutlicht eine viel zitierte Studie zum Einfluss der Umwelt auf die Gehirnentwicklung von Ratten. Bereits in den achtziger Jahren wurde nachgewiesen, dass die Gehirne von Ratten, die in einer anregenden Umgebung, d. h. einem Käfig mit Drehrädern, Leitern zum Klettern und vielen Artgenossen lebten, eine höhere Synapsendichte aufwiesen als die Gehirne von Ratten, die ihre Tage in anrengungsarmer, eintöniger Umgebung fristen mussten. Weiterhin zeigte sich, dass die Ratten aus den anregenden Umwelten bei Lernaufgaben wesentlich besser abschnitten, z. B., wenn es darum ging, den Weg durch ein Labyrinth zu finden und zu behalten. Kurz – der Anregungsgehalt der Umwelt beeinflusst die Hirnentwicklung und die Intelligenz der Ratten maßgeblich.

Diese Befunde sind fraglos ein eindrucksvoller Beleg für die Bedeutung der Umwelt – und die Verantwortung derjenigen, die sie gestalten – im Hinblick auf die Entwicklung von Lernvoraussetzungen, aber was sagen sie uns darüber hinaus? Müssen wir die Umwelt unserer Kinder anregungsreicher gestalten, als sie es im Normalfall ist? Ganz sicherlich nicht! Die Umwelt von frei lebenden Ratten ist mindestens so vielfältig wie die der Laborratten aus den stimulierenden Käfigen. Die Ergebnisse dieser Versuche dokumentieren lediglich, dass eine *unnatürlich reizarme* Umwelt die Hirnentwicklung beeinträchtigt. Sie können keineswegs als Argumente dafür herangezogen werden, dass zusätzliche, über das normale Maß hinausgehende Stimulierung – womöglich nach dem Motto „viel hilft viel“ – die Hirnentwicklung fördert. Abgesehen von tragischen Ausnahmen wie die oben genannten Fälle bieten die Umwelten von Kindern in der Regel sensorischen Input genug – in unserer Mediengesellschaft liegt das Problem wohl eher in einem „Zuviel“ denn in einem „Zuwenig“ an Reizen. Bedeutender als die Quantität ist die *Qualität* der Lernanregungen, d. h. die richtige Auswahl und Umsetzung *entwicklungsangemessener* Angebote. Hierzu sagen uns die Rattengehirne nichts. Darüber hinaus wurden ähnliche Befunde auch mit erwachsenen Ratten erzielt – die Ergebnisse können somit keineswegs als Belege für die besondere

Bedeutung der Lernumwelt in der frühen Kindheit herangezogen werden. Mit der Übertragung von Erkenntnissen aus der tierexperimentellen Forschung auf den Menschen sollte, insbesondere im Zusammenhang mit der Diskussion um frühkindliche Bildung, sehr zurückhaltend umgegangen werden.

Lernen und Gedächtnis

Lernen kann nur stattfinden, wenn Erfahrungen festgehalten und bei Bedarf wieder aktiviert werden können. Es gibt viele verschiedene Formen des Lernens und es gibt viele verschiedene Formen des Gedächtnisses. Den verschiedenen Lern- und Gedächtnisformen liegen jeweils unterschiedliche Hirnareale zugrunde, die sich in unterschiedlichen Zeitabschnitten der Gehirnentwicklung herausbilden. Eine umfassende Darstellung würde den Rahmen dieses Beitrags bei Weitem sprengen. Wir beschränken uns daher auf einige grundlegende Prinzipien frühkindlicher Lern- und Gedächtnisleistungen.

Selbst der einfachste Wahrnehmungsvorgang ist genuin ein Gedächtnisprozess, denn Wahrnehmen bedeutet immer auch das Erkennen von Vertrautem. Schon Neugeborene können Fotos von Gesichtern und gesprochene Wörter, die ihnen einige Minuten vorher präsentiert wurden, wieder erkennen. Bei fünf Monate alten Kindern hält die Erinnerung bereits bis zu zwei Wochen. Diese Form des Erinnerns verläuft passiv und automatisch und nur dann, wenn die betreffenden Reize tatsächlich gesehen bzw. gehört werden. Der bewusste, willkürliche Abruf von Erinnerungen ist in diesem Alter noch nicht möglich. Ab dem Alter von etwa acht Monaten können wir erste Ansätze des bewussten Erinnerns beobachten: Die Kinder suchen nach Gegenständen, die vor ihren Augen versteckt werden, und sie weinen nach der Mutter, wenn diese den Raum verlässt.

Implizites Regellernen – Grundlage der Orientierung in der Welt

Das Wiedererkennen ist eine grundlegende Voraussetzung für die Entwicklung von Wahrnehmungskategorien. Diese Kategorien ermöglichen uns, einen Stuhl unmittelbar als Stuhl, eine Tasse als Tasse, einen Hund als Hund zu erkennen. Sie entstehen durch das Extrahieren von Regelmäßigkeiten, von grundlegenden Merkmalen, die den Vertretern einer Kategorie gemeinsam sind. Es sind Verallgemeinerungen, die das Wesentliche der Dinge umfassen. So wäre es für unsere Orientierung in der Umwelt wenig hilfreich, wenn wir uns jedes Detail jedes Stuhls, der uns begegnet, merken würden. Wichtig ist

vielmehr, über *Stühle im Allgemeinen* Bescheid zu wissen, um angemessen damit umzugehen. Hätten wir solche Kategorien nicht, so wäre jeder Reiz neu, und wir müssten jedes Mal erneut entscheiden, wie damit zu verfahren ist. Wir wären einem heillosen Chaos ausgeliefert.

Das kindliche Gehirn ist vom ersten Lebenstag an auf der Suche nach Strukturen und Gesetzmäßigkeiten in seiner Umwelt. Die Fähigkeit, Kategorien zu bilden und neuartige Reize in diese Kategorien einzuordnen, ist bereits bei wenigen Monaten alten Säuglingen nachweisbar. Die Kinder lernen sehr schnell, Fotos von unterschiedlichen Katzen von Hundefotos zu unterscheiden. Sie bilden eine Kategorie für Katzen, der auch neue, unbekannte Katzen, aber keine Hunde zugeordnet werden (vgl. Quinn u. a. 2006).

Diese grundlegenden Prozesse des Extrahierens von Gesetzmäßigkeiten verlaufen unbewusst und mühelos. Man bezeichnet dies als implizites Lernen. Auch der Grammatikerwerb basiert auf diesem Prinzip. Kinder erlernen die grammatischen Regeln ihrer Muttersprache einfach durch viele Beispiele, nicht durch systematische Unterweisung. Durch die Auseinandersetzung mit der Sprache extrahieren sie deren Strukturen und Regeln ganz von selbst, ohne bewusste Lernabsicht. Äußerungen wie „Ich bin nach Hause gegangen“ oder „Guck dir mal diese lange Pomme an“ dokumentieren diesen Prozess sehr deutlich. Implizit heißt diese Form des Lernens, weil die Regeln – obwohl bald korrekt angewandt – dem Bewusstsein nicht zugänglich sind. Dies gilt auch für Erwachsene, wie ein Beispiel von Spitzer (2002) veranschaulicht: Können Sie erläutern, warum es heißt „Ich bin gerannt“ aber nicht „Ich bin gespaziert“? Sie können es vermutlich nicht, aber Sie *wissen*, dass der zweite Satz inkorrekt ist. Obgleich Sie die Regeln offenkundig beherrschen, bleiben sie Ihrem Bewusstsein verborgen. Die beste Form der frühen Sprachförderung besteht im Anbieten vieler guter Beispiele. Die Regeln erschließen sich die Kinder dann ganz von selbst.

Lernen durch Assoziationsbildung

Eine weitere Form des impliziten Lernens besteht in der Bildung von Verknüpfungen oder *Assoziationen* zwischen Reaktionen und deren Konsequenzen. So lernen Säuglinge, dass bestimmte motorische Reaktionen positive Konsequenzen nach sich ziehen. Das Greifen bewirkt beispielsweise, dass man ein Spielzeug in der Hand hält, das Lächeln bewirkt, dass die Mutter oder der Vater ebenfalls lächelt. Reaktionen, die solche Belohnungen nach sich ziehen, werden häufig wiederholt – hierdurch verfeinert das Kind seine motorischen Fähigkeiten. Schon mit etwa drei Monaten kann ein Säugling

lernen, durch vermehrtes Strampeln ein Mobile in Bewegung zu versetzen, das durch einen Faden mit seinem Fußgelenk verbunden ist. Auch nach einer Pause von einer Woche wird das Strampeln sofort wieder aufgenommen, wenn das Kind das Mobile entdeckt. Offensichtlich wird eine Verknüpfung zwischen den Mobile-Bewegungen und dem Strampeln hergestellt, die durch das Erblicken des Mobiles wieder aktiviert wird.

Der Einfluss von Belohnungen oder *Verstärkern* auf das Lernen neuer Verhaltensweisen wurde bereits um 1950 von Burrhus Frederic Skinner detailliert untersucht. Er beobachtete, dass seine Versuchstiere sehr schnell lernten, einen Hebel in ihrem Käfig (der berühmten „Skinner-Box“) zu betätigen, wenn sie unmittelbar danach eine Futterkugel erhielten. Blieb die Futterkugel aus, so wurde das Hebeldrücken wieder eingestellt. Ähnlich wie die Futterkugel als Verstärker für den Hebeldruck fungiert, wirkt die Bewegung des Mobiles als Verstärker für das Strampeln des Säuglings. Das Lernen durch Verstärkung bleibt unser ganzes Leben lang wirksam. Es verläuft im Säuglingsalter zunächst automatisch und ohne bewusste Einsicht in die Beziehung zwischen der Reaktion und ihrer Konsequenzen. Erst im späteren Alter werden die Zusammenhänge mehr und mehr bewusst. So wird ein Kindergartenkind gern beim Tischdecken helfen, wenn es erkennt, dass hierauf ein anerkennendes Lob der Erzieherin oder des Erziehers folgt. Viele Erziehungsschwierigkeiten resultieren aus der (ungewollten) Verstärkung von kindlichem Problemverhalten oder aus Inkonsequenzen bei der Gewährung von Verstärkern. Ein Kleinkind, das im Supermarkt vehement nach Bonbons verlangt, wird dieses Verhalten immer wieder und immer ausdauernder zeigen, wenn sich die Eltern nur hin und wieder erweichen lassen.

Der Mandelkern – Langzeitgedächtnis für schmerzliche Erfahrungen

Die Bedeutung des Mandelkerns bei der Verarbeitung emotionaler Reize haben wir bereits betrachtet. Der Mandelkern ist nicht nur für das schnelle Reagieren in Gefahrensituationen wesentlich, er bildet auch die Grundlage dafür, dass wir aus schmerzhaften Erfahrungen sehr schnell lernen und die auslösenden Reize in Zukunft meiden. Ein Kind, das einmal die Hand auf eine heiße Herdplatte gelegt hat, wird dies so bald nicht wieder tun. Der Mandelkern ist von großer Bedeutung für solche emotional gefärbten Erinnerungen, er speichert Assoziationen zwischen Angst und Schmerz und den Objekten, Personen oder Situationen, in deren Kontext diese emotionalen Zustände auftreten – ein Mechanismus, der überlebenswichtig sein kann.

Die Erinnerung an schmerzhafte Erfahrungen ist sehr beständig. Viele Erwachsene überkommt noch heute ein ungutes Gefühl, wenn sie ein Schulgebäude betreten und den spezifischen Geruch der frisch gereinigten Flure wahrnehmen. Dies hat seine Ursachen in schmerzlichen Erfahrungen, die vor mehreren Jahrzehnten in ähnlichen Reizkontexten gemacht wurden (wir alle hoffen, dass es unseren Kindern im Erwachsenenalter anders ergeht, wenn sie eine Schule oder Kita betreten!). Traumatische Erlebnisse in der frühen Kindheit, wie körperliche oder seelische Misshandlung oder allein das Fehlen annehmender, einführender und konstanter Zuwendung in den ersten Lebensjahren, können ein Leben lang nachwirken, auch wenn das Kind – bzw. später der Erwachsene – sich nicht bewusst an die zugrunde liegenden Ereignisse erinnern kann. Für das bewusste Erinnern spezifischer Ereignisse sind, wie wir noch sehen werden, andere Hirnareale zuständig, die in der frühen Kindheit noch nicht vollständig ausgereift sind. Die emotionalen Erinnerungen des Mandelkerns sind impliziter Natur, sie wirken und beeinflussen uns, auch wenn wir sie nicht erklären können. Man bezeichnet den Mandelkern daher auch als unser unbewusstes emotionales Langzeitgedächtnis.

Die Bedeutung des emotionalen Lernens in der frühen Kindheit für die psychische Gesundheit wurde schon vor langer Zeit von Bindungsforschern wie René Spitz, John Bowlby und Mary Ainsworth thematisiert – sie wird nun, fast 50 Jahre später, durch neurowissenschaftliche Erkenntnisse eindrücklich belegt. Anhaltender emotionaler Stress im frühen Kindesalter kann die Entwicklung der Stress regulierenden Systeme im Gehirn nachhaltig beeinträchtigen. Zu diesen Systemen gehören neben dem Mandelkern insbesondere der Hippocampus und der präfrontale Kortex. Diese Strukturen hemmen die Aktivität des Mandelkerns und verhindern dadurch unkontrollierte emotionale Ausbrüche – wir beruhigen uns sozusagen selbst. Störungen dieser Regulationsprozesse äußern sich im Erwachsenenalter durch eine herabgesetzte Stressschwelle, eingeschränkte Affektkontrolle sowie unzureichende Bewältigungsstrategien. Diese Schwierigkeiten gehen mit einem erhöhten Risiko für psychosomatische Erkrankungen und die Ausbildung von Suchtverhalten einher (vgl. Franz 2006). Darüber hinaus kann anhaltender frühkindlicher Stress zu nachhaltigen Lerndefiziten führen. Man geht davon aus, dass ein dauerhaft erhöhter Stresshormonspiegel die Entwicklung des Hippocampus beeinträchtigt (vgl. Eliot 2003, 445f.). Diese Struktur spielt bei der Speicherung neuer Information eine entscheidende Rolle. Wir kommen im folgenden Abschnitt darauf zurück.

Fakten und Ereignisse

Bisher haben wir uns mit Lernprozessen befasst, die primär impliziter Natur sind – sie verlaufen absichtslos und die resultierenden Wissensbestände sind dem Bewusstsein oft nicht zugänglich. Ganz anders verhält es sich mit dem *semantischen Gedächtnis*, d. h. dem Wissen über Daten und Fakten (z. B. „Lissabon ist die Hauptstadt von Portugal“) sowie dem *episodischen Gedächtnis*, dem Wissen über spezifische Ereignisse unseres Lebens (z. B. der erste Schultag; die gestrige Besprechung im Kollegenkreis). Das semantische und das episodische Gedächtnis bilden zwei Komponenten des expliziten Gedächtnisses. Im Gegensatz zum impliziten Gedächtnis können wir explizite Erinnerungen willentlich abrufen, beispielsweise um über ein Erlebnis zu berichten oder einen Sachverhalt zu durchdenken. Auch verläuft der Erwerb expliziten Wissens (leider) nicht immer mühelos. Um uns neue Informationen wie beispielsweise die Inhalte eines Textes anzueignen, müssen wir unsere Aufmerksamkeit bewusst auf diesen Lerngegenstand richten, konkurrierende Verhaltenstendenzen (etwa, zunächst einen Spaziergang zu machen) unterdrücken, Lernstrategien entwickeln, Gelerntes wiederholen etc.

Für das explizite und implizite Lernen sind jeweils unterschiedliche Hirnstrukturen von Bedeutung. Wir wissen dies aus Studien an Patienten, die nach einer Hirnschädigung Teile ihres Gedächtnisses verloren haben. Bekannt geworden ist besonders der Fall H. M., eines jungen Automechanikers, bei dem aufgrund unkontrollierbarer epileptischer Anfälle bestimmte Strukturen des limbischen Systems, insbesondere der Hippocampus, entfernt werden mussten. H. M. war nach dieser Operation nicht mehr in der Lage, sich neue Informationen dauerhaft einzuprägen (man bezeichnet dies als „Amnesie“). Er las beispielsweise mehrmals am Tag dieselbe Zeitung, ohne dass es ihm langweilig wurde, und die Ärzte, die ihn untersuchten, mussten sich jeden Tag neu vorstellen. Als er mit der Familie umzog, konnte er sich in der neuen Wohnung nicht zurechtfinden. Für H. M. gab es ab dem Zeitpunkt der Operation nur noch die unmittelbare Gegenwart, er hatte keinerlei Erinnerungen an den vorigen Tag oder die vergangene Stunde. Sein Bewusstsein hatte die zeitliche Kontinuität verloren, es war in zusammenhanglose Elemente zerfallen. Im Gegensatz dazu zeigte er – wie andere amnestische Patienten auch – ganz normale Lernfortschritte beim Einüben von Fertigkeiten wie dem Legen von Puzzles und dem Spiegelzeichnen (Nachzeichnen eines Sterns, wobei die schreibende Hand nur im Spiegel zu sehen ist). Er konnte sich jedoch in kei-

ner der Sitzungen daran erinnern, die Aufgaben jemals vorher ausgeführt zu haben.

Fälle wie dieser zeigen uns, dass das Gedächtnis aus verschiedenen, voneinander unabhängigen Komponenten besteht. Die Beherrschung psychomotorischer Fertigkeiten wie Spiegelzeichnen, Fahrradfahren, Tennisspielen oder auch das Schleifebinden beruht auf dem *prozeduralen* Gedächtnis; dies war bei H. M. völlig intakt. Es war ihm aber unmöglich, neues Wissen in sein episodisches Gedächtnis zu integrieren – an die Lernsituationen konnte er sich schon nach kurzer Zeit nicht mehr erinnern. Heute wissen wir, dass der Hippocampus, der präfrontale Kortex und der mediale Thalamus wesentliche Teile eines Schaltkreises bilden, der die dauerhafte Speicherung von episodischem Wissen gewährleistet und es ermöglicht, dass wir uns auch nach Jahrzehnten noch sehr detailliert an Ereignisse und deren zeitlichen und räumlichen Kontext erinnern können.

Ein bekanntes Phänomen der Gedächtnisentwicklung ist die so genannte „infantile Amnesie“. Hiermit ist die Tatsache gemeint, dass ältere Kinder und Erwachsene kaum in der Lage sind, Erinnerungen an Ereignisse aus ihrer frühen Kindheit zu berichten. Während 70-Jährige zu detaillierten Berichten über Ereignisse imstande sind, die 30 Jahre zurückliegen, verfügen 10- bis 20-Jährige über so gut wie keine Erinnerungen aus der Zeit vor ihrem 4. oder 5. Geburtstag, obgleich die verstrichene Zeit wesentlich kürzer ist. Heute geht man davon aus, dass die lang andauernde Entwicklung der eben genannten Hirnstrukturen für die infantile Amnesie verantwortlich ist. Der Hippocampus ist einer der wenigen Bereiche, in denen nach der Geburt noch Nervenzellen entstehen, und auch die Myelinbildung setzt sich hier noch lange Zeit fort. Der präfrontale Kortex entwickelt sich bis ins zweite Lebensjahrzehnt hinein weiter. Dieser Bereich ist besonders für das Speichern des „wo“ und „wann“ von Ereignissen bedeutend. So kann es passieren, dass uns eine Person auf der Straße freundlich begrüßt, und wir genau wissen, dass wir sie kennen. Dennoch können wir uns nicht erinnern, um wen es sich handelt bzw. wann und wo wir die Person kennen gelernt haben – eine sehr unangenehme Situation.

Kinder im Vor- und Einschulungsalter zeigen recht häufig eine solche „Quellenamnesie“, ein Umstand, der wahrscheinlich durch die Unreife des präfrontalen Kortex bedingt ist. Die Kinder tendieren auch dazu, erinnerten Ereignissen fälschlich einen bestimmten zeitlichen und räumlichen Kontext zuzuordnen. Dies kann dazu führen, dass Ereignisse, die vorgestellt, vorgelesen oder geträumt wurden, als tatsächlich erlebte Episoden erinnert werden.

In einer diesbezüglichen Studie (Ceci u. a. 1994) wurden Vorschulkinder über einen Zeitraum von 12 Wochen regelmäßig gefragt, ob sie sich an bestimmte Ereignisse erinnern könnten, z. B. daran, dass ihr Finger einmal in eine Mausefalle geraten sei, und sie deshalb im Krankenhaus waren. Der Anteil an Kindern, die angaben, sich an diese Ereignisse erinnern zu können, stieg zwischen der ersten und der letzten Befragung erheblich an. Dabei waren sich die Kinder ihrer Erinnerungen sehr sicher – Hinweise der Eltern, dass dies gar nicht passiert sei, wiesen sie vehement zurück. Weiterhin fiel auf, dass einige Kinder zunehmend detailliertere und lebendigere Erinnerungen berichteten. So erzählte ein Vierjähriger auf die Frage nach dem Ereignis mit der Mausefalle:

„Mein Bruder Colin hat versucht, mir Blowtorch [eine Spielzeugfigur] wegzunehmen. Ich wollte ihn aber nicht hergeben und dann hat er mich in einen Holzstapel geschubst, wo die Mausefalle drin war. Und dann war mein Finger darin gefangen. Und dann fahren wir zum Krankenhaus, meine Mama, mein Papa und Colin haben mich dahin gefahren, zum Krankenhaus, mit unserem Kleinbus, denn das war weit. Und der Doktor hat mir einen Verband gemacht um diesen Finger [zeigend]“ (Übersetzung durch die Verf.).

Durch die wiederholte gedankliche Beschäftigung mit den Ereignissen über den recht langen Untersuchungszeitraum wurden die Erinnerungen der Kinder immer lebendiger und so gefestigt, dass sie schließlich auf tatsächlich erlebte Ereignisse zurückgeführt wurden. Das Wissen um die Anfälligkeit kindlicher Erinnerungen für Suggestivfragen spielt bei der Erhebung und Beurteilung kindlicher Zeugenaussagen eine große Rolle. Kinder können sehr zuverlässige Zeugenaussagen liefern, jedoch nur dann, wenn jede Form von Suggestion vermieden wird.

Die Neurowissenschaften haben Erkenntnisse über die Entwicklung des Gehirns hervorgebracht, die die große Bedeutung der frühen Kindheit für die weitere kognitive und sozial-emotionale Entwicklung eindrücklich bestätigen. Die Art und Weise wie wir als Erwachsene Informationen auswählen, bewerten und verarbeiten, unser Verhalten in sozialen Situationen und unsere emotionalen Reaktionen werden maßgeblich durch das neuronale Grundmuster bestimmt, das sich in den ersten Lebensjahren herausbildet.

In den letzten Jahren ist es zu einem regelrechten Boom von Angeboten zur Frühförderung gekommen. Lerninstitute und Verlage bieten Früh-Englisch und musikalische Erziehung ab dem vierten Lebensmonat, Mathematik-Kurse für Vierjährige, Nachmittagsunterricht für Kindergartenkinder („um auf die Schule vorzubereiten“) und speziell arrangierte Klassik-CDs für Säuglinge („zur Förderung der verbalen Ausdrucksfähigkeit“) an, um nur

einige Beispiele zu nennen. Aus Verunsicherung, Sorge oder auch übertriebenem elterlichen Ehrgeiz sind die Terminkalender mancher Kinder so gefüllt, dass für spontane, selbst-initiierte Aktivitäten kaum noch Raum bleibt. Wie oben dargelegt, ist ein solches Überschütten der Kinder mit Lernstoff jedoch keineswegs neurowissenschaftlich begründbar. Kleine Kinder lassen sich nichts aufzwingen, sie wählen selbst die Inputs aus, die sie in der jeweiligen Entwicklungsphase benötigen. Unsere Verantwortung liegt darin, sie dabei zu begleiten und *die richtigen Anregungen zur richtigen Zeit* vorzuhalten. Auf die Frage, wie dieser Anspruch inhaltlich umzusetzen ist, gibt die Hirnforschung bislang kaum Antworten. Hierzu sind pädagogisch-psychologische und didaktische Konzepte notwendig, wie sie in den folgenden Beiträgen dieses Bandes thematisiert werden.

Literatur

- Blakemore, S.-J.; Frith, U. (2005): The learning brain. Lessons for education. Malden
- Ceci, S. J.; Huffmann, M. L. C.; Smith, E.; Loftus, E. (1994): Repeatedly thinking about a non-event: Source misattributions among preschoolers. In: *Consciousness and Cognition* 3, 388-407
- Cheour, M.; Shestakova, A.; Alku, P.; Ceponiene, R.; Näätänen, R. (2002): Mismatch negativity shows that 3-6-year-old children can learn to discriminate non-native speech sounds within two months. In: *Neuroscience Letters* 325, 187-190
- Curtiss, S. (1989): The independence and task-specificity of language. In: Bornstein, M. (Hrsg.), *Interaction in human development*. Hillsdale u. a., 105-137
- De Haan, M.; Johnson, M. (2003): Mechanisms and theories of brain development. In: de Haan, M.; Johnson, M. (Hrsg.): *The cognitive Neuroscience of Development*. Hove, 1-18
- Eliot, L. (2003): Was geht da drinnen vor? Die Gehirnentwicklung in den ersten fünf Lebensjahren. 4. Aufl. Berlin
- Franz, M. (2006): Traumatische Kindheit – ihre Folgen für das Erwachsenenleben. In: *Psychotherapie im Dialog*, H. 1, 83-88
- Grabowski, J.; van den Meer, E. (Hrsg.) (2001): *Hilgards Einführung in die Psychologie*. Heidelberg
- Kuhl, P.; Stevens, E.; Hayashi, A. (2006): Infants show a facilitation effect for language phonetic perception between 6 and 12 months. In: *Developmental Science* 9, 13-21
- Kuhl, P.; Tsao, F.-M.; Liu, H.-M. (2003): Foreign-language experience in infancy. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 100 (15), 9096-9101
- Petermann, F.; Niebank, K.; Scheithauer, H. (2004): *Entwicklungswissenschaft*. Berlin u. a.
- Quinn, P. C.; Westerlund, A.; Nelson, C. (2006): Neural markers of categorization in 6-month-old infants. In: *Psychological Science* 17, 59-66
- Singer, W. (2002): Was kann ein Mensch wann lernen? Ergebnisse aus der Hirnforschung. In: *Frühe Kindheit. Zeitschrift der Deutschen Liga für das Kind*. H. 1, 4-9
- Solso, R. L. (2005): *Kognitive Psychologie*. Heidelberg
- Spitzer, M. (2002): *Lernen: Gehirnforschung und die Schule des Lebens*. Heidelberg
- Zimbardo, P.; Gerrig, R. (2004): *Psychologie*. Berlin u. a.