

AUFSÄTZE

Anna Katharina Braun

Lernen in der Kindheit optimiert das Gehirn

Lernen in der Kindheit und Jugend unterscheidet sich vom Lernen bei Erwachsenen. Beim kindlichen und jugendlichen Lernen werden Erfahrungen und Lernprozesse dazu genutzt, die noch unreifen funktionellen Schaltkreise des Gehirns, insbesondere des limbischen „Belohnungs-“ Systems zu optimieren. Salopp ausgedrückt könnte man dies in der Computersprache mit der „Formatierung der Festplatte“ vergleichen. Somit werden in der „Hardware“ – dem Gehirn – schon relativ früh im Leben prinzipielle Konzepte für späteres Lernen, und auch für die mit jedem assoziativen Lernprozess untrennbar verknüpfte emotionale Erlebniswelt angelegt.

1 Wie entwickeln sich die informationsverarbeitenden Netzwerke im Verlauf der Gehirnentwicklung?

Bei der Geburt ist das Gehirn¹ nahezu mit der vollständigen Anzahl von Nervenzellen² ausgestattet. Nur vereinzelte neue Nervenzellen werden im Verlauf des weiteren Lebens in einigen Hirnregionen neu gebildet, z.B. dem beim räumlichen Lernen und bei der Gedächtnisabspeicherung beteiligten Hippocampus, wo sie dann in die vorhandenen Schaltkreise integriert werden. Interessanterweise wurde in tierexperimentellen Studien gezeigt, dass die Neubildung der Nervenzellen angeregt werden kann durch Umwelteinflüsse und Lernprozesse. Erfahrungen und Lernen können im kindlichen und auch noch im erwachsenen Gehirn wie ein „Jungbrunnen“ wirken, und damit vermutlich seine Leistungsfähigkeit steigern. Viele Hirnsysteme sind bei der Geburt zwar funktionsfähig, müssen dann aber nach der Geburt noch optimiert werden. Während die Gehirnzentren, die überlebenswichtige automatische Funktionen wie das Atmen oder den Herzschlag steuern, bereits ihre volle Leistungsfähigkeit erreicht haben, müssen die Sinnesysteme (z.B. Sehen, Hören, Tasten etc), die motorischen Zentren (Bewegungssteuerung) und vor allem die Gehirnsysteme, mit denen wir unsere Emotionalität und höhere assoziative Leis-

¹ Glossar: Das Gehirn ist aus zwei verschiedenen Zelltypen aufgebaut:

- Neuronen = Nervenzellen, die der Informationsübertragung dienen.
- Glia(-zellen) = „Partnerzellen“ der Nervenzellen, die in anderer, zum Teil noch nicht ganz bekannter Weise an der Informationsübertragung beteiligt sind.

² Glossar: Eine Nervenzelle (Neuron) besteht aus:

- Soma = Zellkörper, in dem ein Zellkern sitzt.
- Dendriten = Ausläufer der Nervenzelle, auf denen die Informationen anderer Nervenzellen, vermittelt über die chemische Signale (Ausschüttung von Neurotransmittern) der Synapsen, eintreffen. Das chemische Signal wird an der Synapse in ein elektrisches Signal umgewandelt, welches dann in den Zellkörper weitergeleitet wird. Von dort läuft das elektrische Signal in das Axon.
- Axon = Ausläufer der Nervenzellen, welcher in einer oder mehreren Synapse(n) endet.

Synapsen sind Strukturen der Nervenzellen, an den die Informationen mit anderen Nervenzellen ausgetauscht werden. Hier wird das elektrische Signal in ein chemisches Signal umgewandelt und dem Dendriten anderer Nervenzellen „mitgeteilt“.

Neurotransmitter: Dopamin, serotonin, Gamma-amino-Buttersäure (GABA) sind chemische Botenstoffe, die bei der Informationsübertragung zwischen Neuronen an deren Synapsen mitwirken.

tungen vollbringen (limbisches System³, präfrontaler Cortex⁴), noch in ihrer Funktion perfektioniert werden. Die verschiedenen funktionellen Hirnsysteme entwickeln sich jedoch nicht alle gleichzeitig, und auch nicht mit derselben Geschwindigkeit. Während die Sinnessysteme bereits relativ früh, in den ersten Lebensjahren ihre volle Funktionsfähigkeit erreichen, gehört das limbische System, mit dem wir unsere Gefühlswelt entwerfen und mit dem wir unser Leben lang lernen, zu den „Spätentwicklern“ des Gehirns. Die limbischen Zentren und vor allem auch der beim Affen und Menschen besonders voluminös ausgeprägte frontale Teil der Hirnrinde (cerebraler Cortex), der präfrontale Cortex, mit dem wir höhere assoziative Leistungen und auch unsere emotionale Steuerung bewerkstelligen, entwickeln sich besonders langsam, beim Menschen bis zum 20. Lebensjahr und länger.

Die langsame Entwicklung der synaptischen Netzwerke, insbesondere der Informationskanäle in den lern- und emotionsrelevanten Hirnregionen, birgt für die intellektuelle und sozio-emotionale Entwicklung des Individuums Vor- aber auch Nachteile. Der *Vorteil* liegt darin, dass wir unser Gehirn optimal an den jeweiligen Lebensraum, in dem wir aufwachsen, anpassen können, und damit die für das Überleben essentiellen Verhaltensstrategien entwickeln. Ein Kind, welches in der afrikanischen Wüste aufwächst, wird sicherlich andere Nervennetzwerke entwickeln und andere Verhaltensweisen und Fertigkeiten erlernen, als ein Kind, welches in den Elendsvierteln einer Großstadt aufwächst. Der *Nachteil* dieser ausgeprägten Veränderbarkeit des kindlichen Gehirns liegt wiederum darin, dass sich das Gehirn eben leider auch an negative (oder fehlende) Umwelteinflüsse anpasst. Defizitäre Elternhäuser und mangelhafte Schulsysteme wirken sich zwangsläufig auch auf die Hirnentwicklung aus, sie verhindern quasi die Optimierung des Gehirns und können langfristig nahezu irreversible funktionelle Defizite im heranwachsenden Gehirn hinterlassen. Jede Erziehung, sei es im Elternhaus, sei es in den staatlichen Einrichtungen, löst *organische Veränderungen* im kindlichen Gehirn aus, hinterlässt also quasi „Fußstapfen“ im Gehirn des Kindes.

Eine der nach wie vor noch nicht vollständig geklärten Fragen der Neurowissenschaften ist, wann und vor allem wie werden diese neuronalen Netzwerke aufgebaut und im Rahmen ihrer funktionellen Reifung umstrukturiert? Es gibt Hinweise darauf, dass sich viele Schaltkreise des Gehirns beim Menschen innerhalb der ersten 4 bis 6 Lebensjahre optimieren. Dies impliziert, dass der vorschulischen Bildung eine viel größere Bedeutung zukommt als bisher angenommen, denn sie kann sich – wie im Verlauf dieses Kapitels weiter ausgeführt werden wird – massiv in die Gehirnentwicklung „einmischen“. Es zeigte sich aber gerade auch beim Menschen, dass sich auch noch viel später ganz enorme Veränderungen im Gehirn vollziehen, beispielsweise stellt die Pubertät ein Zeitfenster dar, in dem das Gehirn nochmals einer „Baustelle“ gleicht. Und auch später, im Normalfall bis ins hohe Alter, bleibt das Gehirn noch veränderbar, schließlich zeichnet sich gerade der Mensch durch seine Fähigkeit zum lebenslangen Lernen aus. Nur sind die Veränderungen, die sich im erwachsenen Gehirn beim Lernen vollziehen vermutlich sehr viel geringer als bei Kind, was einerseits an der im Vergleich zum noch heranreifenden Gehirn verminderten Plastizität (Veränderbarkeit der Nervenzellen und ihrer Synapsen) liegt, und andererseits auch dadurch begründet ist, dass das erwachsene Gehirn aufgrund seiner umfangreichen Vorerfahrungen sehr viel effizienter arbeitet indem es auf bereits (u.a. auch schon

³ Glossar: *Limbisches System* = ein über Synapsen miteinander kommunizierendes System verschiedener Hirnregionen, welches maßgeblich bei Lernprozessen und bei der Gedächtnisbildung, aber auch bei der Wahrnehmung und beim Entstehen von Gefühlen und gefühlsbetonten Verhaltensweisen beteiligt ist.

⁴ Glossar: *Cortex* = Großhirnrinde, eine vor allem beim Menschen besonders ausladend entwickelte Struktur, die nochmals unterteilt werden kann in Bereiche mit unterschiedlicher Funktion, z.B. auditorischer Cortex (Hörinde), visueller Cortex (Sehrinde), präfrontaler Cortex (Assoziationsrinde).

in der Kindheit) abgespeicherte Gedächtnisinhalte, und die entsprechenden bereits mehr oder weniger optimierten („getunten“) synaptischen Netzwerke zurückgreifen kann.

2 Geistesblitze und Drogen: Wie funktioniert die Informationsverarbeitung durch die Nervenzellen?

Welche Faktoren spielen bei der Hirnentwicklung eine Rolle? Was steuert die Entwicklung des Gehirns? Welche Faktoren und Mechanismen sind an der Bildung von Nervenzellen und ihren komplexen synaptischen Verschaltungen beteiligt? Diese Fragen der Hirnforschung sind ganz eng gekoppelt an Fragen, die sich Eltern und Erzieher stellen: Was ist angeboren und was ist erworben/erlernt? Können die funktionellen Einheiten des Gehirns bei mangelnder Förderung verkümmern, und wie können wir ihre funktionelle Entwicklung optimal fördern?

Betrachten wir zunächst die Funktionsweise des Gehirns bzw. seiner Funktionseinheiten, die Nervenzellen oder Neurone. Bereits vor der Geburt beginnen die Nervenzellen mithilfe ihrer Axone, die vergleichbar mit einem „Stromkabel“ sind, Kontakte mit anderen Neuronen auszubilden. An diesen Kontakten, den Synapsen, werden Informationen (z.B. Sinneswahrnehmungen, Steuerung von Bewegungen usw.) in Form von elektrischen und chemischen Signalen übertragen. Jede Nervenzelle kann gleichzeitig Signale empfangen und Signale an andere Nervenzellen weiterleiten, sie ist also sowohl „Sender“, als auch „Empfänger“ von Informationen. Das Axon einer „Senderzelle“ bildet Synapsen auf den weit verzweigten Dendritenbäumen einer bzw. vieler „Empfängerzellen“ aus, deren Dendriten fungieren als „Antennen“, auf denen alle ankommenden Signale der Axone vieler anderer Nervenzellen gesammelt und miteinander verrechnet werden. Diese Informationen werden dann an den Zellkörper, das Soma weitergeleitet, und von dort aus dann wieder entlang dem Axon an weitere Nervenzellen weitergeleitet. Die Informationsübertragung entlang der Axone geschieht über winzige elektrische Ströme, die zwar sehr schwach sind, die aber mittels empfindlicher Elektroden in einer einzelnen Nervenzelle, oder als Summe vieler Nervenzellen sogar außen am Gehirn (Elektroencephalogramm/EEG, Magnetencephalogramm/MEG) gemessen werden können. Das elektrische Signal wird dann an der Synapse, also der Kontaktstelle zwischen zwei Nervenzellen, in ein chemisches Signal umgewandelt. Am Ende des Axons bilden sich ein oder mehrere Endknöpfchen aus, in welchen chemische Botenstoffe in kleinen Bläschen „Vesikeln“ verpackt sind. Erreicht das elektrische Signal das synaptische Endknöpfchen, entleert sich der Inhalt dieser Bläschen in den engen synaptischen Spalt, der das Endknöpfchen vom Dendriten der Empfängerzelle trennt. Der freigesetzte Botenstoff diffundiert im synaptischen Spalt zum Dendriten der „Empfängerzelle“ und bindet auf dessen Oberfläche an spezielle Rezeptoren, vergleichbar mit dem Schlüssel, den man in sein speziell für ihn passendes Schlüsselloch steckt. Über die Bindung des Botenstoffes an seinen Rezeptor „erfährt“ die Empfängerzelle, dass hier ein Signal angekommen ist und kann dies dann weiterleiten an andere Nervenzellen. Dieser chemische Vorgang bewirkt jedoch nicht alleine die Signalweiterleitung und -Verarbeitung, sondern es kann längerfristig, z.B. als Folge von Lernvorgängen, eine Veränderung im Wachstum der Nervenzellen bewirken, d.h. es kann die Nervenzellen dazu veranlassen, mehr oder weniger Synapsen mit anderen Nervenzellen auszubilden, oder auch bestimmte, überzählige oder nicht genutzte Synapsen wieder aufzulösen. Bei jedem Lernprozess werden also die informationsverarbeitenden neuronalen Netzwerke mehr oder weniger massiv umstrukturiert.

Dieser Auf- und Abbau der neuronalen Netzwerke wird insbesondere im kindlichen Gehirn sehr stark von Erfahrungen und Lernprozessen gesteuert und funktioniert nach dem Prinzip „Use it or lose it“. Insbesondere in den ersten Lebensjahren (und auch noch einmal während der Pu-

bertät) herrscht hier ein knallharter Konkurrenzkampf der Synapsen. Nach darwinistischen Prinzipien werden überzählig oder „nutzlose“ Synapsen aussortiert, nur diejenigen überleben, die häufig genutzt und aktiviert werden („use it“) und damit für das Individuum sinnvolle und überlebensnotwendige Informationen verarbeitet, während die selten genutzten Synapsen verkümmern und schließlich ganz abgebaut werden („lose it“). Die Leistungsfähigkeit des Gehirns wird demnach nicht so sehr über die Quantität der Nervenzellen und ihrer Synapsen bestimmt, sondern hängt vielmehr von der Qualität der synaptischen Verknüpfungen ab.

Es gibt nachgeburtliche Zeitfenster der Hirnentwicklung und der Verhaltensentwicklung, die „sensiblen“ oder „kritischen“ Phasen. Bei der Gehirnentwicklung liegen diese sensiblen Phasen je nach Gehirnregion in der vorschulischen und frühen schulischen Lebenszeit. Beispielsweise vollzieht sich die funktionelle Reifung der Sinnessysteme (Sehen, Hören etc) bereits in den ersten Lebensjahren, also einem Zeitfenster welches gut korreliert mit der Optimierung der Seh- und Hörfähigkeiten. Beim Hörsystems erstreckt sich die synaptische Entwicklung noch über einen etwas längeren Zeitraum, da dieses Sinnessystem neben der Präzisierung des Gehörs für Spracherkennung auch beteiligt ist am Spracherwerb, und noch später dann beim Lesen- und Schreibenlernen. Auch hier ist der Einfluss der Umwelt ganz essentiell, denn wenn beispielsweise der Hörkortex nicht gleich von Geburt an darauf trainiert wird, menschliche Sprachlaute zu verarbeiten, dann wird sich dies später auf den Spracherwerb hinderlich auswirken, denn nur das, was man präzise mit dem Gehör erfasst, kann auch initiiert und im weiteren Verlauf über die kontinuierliche Hörkontrolle des eigenen Sprechens dann sukzessive optimiert werden. Verläuft der Spracherwerb nicht optimal (wenn beispielsweise zu wenig mit dem Kind gesprochen oder vorgelesen wird und stattdessen die sprachliche Anregung von den für das kindliche Gehirn viel zu schnellen Sequenzen von Fernsehsendungen oder Videospielen geliefert wird), werden sich hieraus fast zwangsläufig später dann Probleme beim Lesen- und Schreibenlernen ergeben. Da Buchstaben bzw. Silben die Sprachbausteine, d.h. eine akustische Information bildhaft darstellen, wird sich beim Fehlen der hierfür essentiellen Grundfertigkeiten des präzisen Hörens und Sprechens unweigerlich eine Lese- und Schreibschwäche entwickeln.

Die Hirnentwicklungsphasen korrelieren mit den Phasen besonders effizienter Lernfähigkeit. Die Existenz der sowohl von den Entwicklungspsychologen als auch von den Entwicklungsbiologen nachgewiesenen Entwicklungszeitfenster bedeutet jedoch keinesfalls, dass nach Ablauf der ohnehin für die lernrelevanten Hirnzentren (limbisches System, Präfrontalcortex) nicht sehr scharf begrenzten Zeitfenster das Lernen nicht mehr möglich ist, es wird nur entsprechend mühsamer und langsamer. Was in den ersten Lebensjahren in kürzester Zeit erworben werden kann (z.B. eine Fremdsprache), erfordert mit zunehmendem Alter wesentlich längere Zeiträume („Was Hänschen nicht lernt, lernt Hans nimmermehr“ bzw. sehr viel mühsamer).

3 Was ist angeboren und was ist erlernt?

In allen Entwicklungsstadien des Gehirns und seiner Nervenzellen und Synapsen kommt es zu einer subtilen Wechselwirkung zwischen genetisch festgelegten, d.h. angeborenen, vorprogrammierten zellulären und molekularen Programmen, und den Erfahrungen und Lernvorgängen. Die genetische Ausstattung, also die angeborenen Komponenten bei der Entwicklung der Nervenzellen, bestimmt den groben Schaltplan des Gehirns mit den prinzipiellen Antworteigenschaften der Nervenzellen auf Sinnesreize. Die hierbei entstehenden synaptischen Netzwerke werden, wie bereits ausgeführt, dann über Umwelteinflüsse, d.h. Erfahrungen und Lernprozesse nochmals umgebaut, d.h. es erfolgt eine Präzisierung und Optimierung dieser Informationskanäle, quasi vergleichbar mit dem „tuning“ eines Motors, der auf Höchstleistung „frisirt“ wird. Vor der Geburt dominieren zunächst die genetisch vorprogrammierten Entwicklungsprozesse,

die durch die auf den Foetus einwirkenden, noch sehr eingeschränkten, Umwelteinflüsse nur in relativ geringem Maße moduliert werden. Solche relativ „starr“ festgelegten genetischen und molekularen Entwicklungsprogramme stellen einen Sicherheitsfaktor dar, um eine normale Entwicklung und Reifung des Gehirns selbst unter suboptimalen Umweltbedingungen (z.B. Mangelernährung, Stress der Mutter, mechanische Einwirkungen auf den Mutterleib usw.) zu gewährleisten und diese gegenüber störenden Umweltfaktoren abzapuffern. Alle über unsere Sinnesorgane wahrgenommenen Informationen aus der Umwelt werden über solche synaptischen Netzwerke zunächst registriert, dann hinsichtlich ihrer Bedeutung analysiert und schließlich im Gedächtnis abgespeichert, wo sie dann später wieder abgerufen werden können. Wie bereits erläutert, bewirken die bei der Reizübertragung ausgeschütteten Botenstoffe (Neurotransmitter) chemische Veränderungen in den beteiligten Nervenzellen, die dadurch in ihrem Wachstum, insbesondere bei der Etablierung ihrer Synapsen beeinflusst werden. Das über die Umweltreize ausgelöste chemische Signal an den Synapsen wird bis zum Zellkern weitergeleitet, dort liegt das Erbmaterial, die Gene, die dadurch an- oder abgeschaltet werden können. Vergleicht man die Gene mit einer Klaviertastatur, so könnte man die Umwelt als Pianisten sehen, der die Gen“tasten“ auf dem Klavier anschlägt und dadurch die über genetische molekulare zellulären Prozesse vermittelte Optimierung der neuronalen Netzwerke beeinflusst. Bei einer komplexen, reichhaltigen Umwelt, werden viele „Gen-Tasten“ angeschlagen und es entsteht so eine komplexe „Symphonie“, d.h. ein komplexes und leistungsfähigeres Netzwerk, während bei nur spärlicher Anregung entsprechend weniger Gen“tasten aktiviert werden, so dass nur eine simple Melodie oder Chaos entsteht, d.h. diese Verschaltungsmuster im Gehirn werden eine geringere Leistungskapazität erreichen und langfristig geradezu verkümmern. Bei chaotischen Umweltbedingungen, wie z.B. unvollständige oder inkonsistente Informationen, Reizüberflutung (z.B. durch Medien) kann es hierbei vermutlich auch zu „falschen“ synaptischen Verschaltungen kommen, d.h. es werden „falsche“ oder unsinnige Verhaltensweisen angelegt. Der bildhafte Vergleich des Pianisten Umwelt und seinem „Genklavier“ veranschaulicht auch, dass die Leistungsfähigkeit des Gehirns selbst bei einer noch so guten genetischen Veranlagung nicht zur vollen Blüte kommen kann, wenn es in früher Kindheit an Förderung mangelt oder wenn Chaos herrscht. Umgekehrt, wird es bei einer genetischen Schädigung (Down Syndrom, fragiles X Syndrom also quasi einem Klavier mit einer defekten Klaviertaste), trotzdem durch frühzeitige und umfangreiche Förderung gelingen, das Gehirn in seiner Entwicklung noch zu einer beachtlichen Leistungskapazität zu führen.

Ein solch weitreichender Einfluss von Lern- und Erfahrungsprozessen bei der Gehirnentwicklung wurde jahrzehntelang gewaltig unterschätzt. Systematische tierexperimentelle Untersuchungen in den letzten Jahren zeigen jedoch immer mehr, dass der Abwechslungsreichtum der Umwelt letztendlich darüber bestimmt, wie komplex sich die zellulären informationsübertragenden Strukturen des Gehirns entwickeln und die verschiedenen Gehirnsysteme miteinander vernetzen. Eine abwechslungsreiche, interessante und anregende Umwelt regt das Gehirn zu einer verstärkten Aktivität an, und dadurch kann sich z.B. die Sterberate von Nervenzellen und deren synaptischen Kontakte vermindern, die Axone und Dendriten der häufiger aktivierten Nervenzellen verlängern sich, und sie bilden mehr synaptische Kontakte untereinander aus. Hingegen führt ein Mangel oder das völlige Fehlen anregender Umwelteinflüsse – wie es am berühmten Beispiel von Kaspar Hauser oder verschiedenen Fällen von „Wolfskindern“ berichtet wird –, oder auch das wiederholte Auftreten von traumatischen und schmerzvollen Erlebnissen, zur Unter- oder Fehlentwicklung der zellulären Komponenten des Gehirns. So wie sich ein untrainierter Muskel nur schwächlich entwickelt, entsteht bei mangelnder Anregung ein Gehirn mit verminderter oder gestörter Leistungskapazität, was dann zu Lern- und Verhaltensstörungen führen

kann. Beobachtungen des Wiener Psychoanalytikers *Rene Spitz*⁵ an Heimkindern, und auch die in jüngster Zeit an Kindern aus rumänischen Waisenhäusern erhobenen Befunde zeigen ganz klar, welch verheerende und dauerhaft im Gehirn verankerte Wirkung ein Mangel an emotionaler Zuwendung auf die Entwicklung kognitiver und emotionaler Fähigkeiten hat. Die Studien von *Skeels*⁶ haben klar gezeigt, dass es in der ganz frühen Kindheit weniger auf eine hochwertige intellektuelle Förderung des Kindes ankommt, sondern vielmehr auf eine stabile emotionale Bindung zu einer Bezugsperson. *Skeels* ließ in einer Studie verwaiste Säuglinge einer seiner Säuglingsstationen von debilen Mädchen und jungen Frauen eines benachbarten Erziehungsheims „adoptieren“, diese Pflegemütter durften sich unter entsprechender Anleitung durch das Klinikpersonal um einen ihnen zugeteilten Säugling kümmern. Die Studie konnte nachweisen, dass die Säuglinge, welche die uneingeschränkte und kontinuierliche Aufmerksamkeit und emotionale Hinwendung einer Pflegemutter erhielten, später weit bessere schulische und berufliche Leistungen erreichten, als diejenigen, die ihr Leben ausschließlich im Kinderheim ohne individuelle Betreuung verbringen mussten.

Auf der hirnbologischen Ebene ist auch heute noch weitgehend unklar, welche Umweltfaktoren in welcher Weise bei der erfahrungsgesteuerten funktionellen Reifung des Gehirns, insbesondere dem limbischen System wirksam werden. Die zellulären und molekularen Mechanismen, die hierbei eine Rolle spielen, können nur an geeigneten Tiermodellen systematisch untersucht werden. Wie in allen Bereichen der klinischen Forschung wird es auch hier nur über das detaillierte Verständnis der neuronalen Entwicklungsprozesse im Gehirn längerfristig möglich sein, neue verbesserte präventive und therapeutische Strategien und Maßnahmen für das menschliche Gehirn zu entwickeln. Tierexperimentelle Forschungsergebnisse zeigen, dass Ratten oder Hühnerküken, die während früher Entwicklungsphasen wiederholt oder auf Dauer von den Eltern getrennt wurden, einen deutlich reduzierten Stoffwechsel, d.h. eine verminderte Aktivität der Zellen im präfrontalen Cortex (und anderen limbischen Hirnregionen) aufweisen, die sowohl bei der Wahrnehmung von emotionalen Signalen (z.B. durch Mimik oder Sprache) als auch bei der Steuerung emotionaler Verhaltensweisen (Aggression, Impulskontrolle, Empathie) eine wichtige Rolle spielen. Eine ganz vergleichbare chronische „Unteraktivierung“ solcher präfrontaler Emotionszentren findet sich bei Menschen mit emotionalen Störungen z. B. bei depressiven Patienten. Die Arbeitsgruppe von *Sir Michael Rutter*⁷ konnte im Rahmen einer Adoptionsstudie bei rumänischen Waisenkindern mithilfe von bildgebenden Verfahren ebenfalls eine chronische Unteraktivierung der präfrontalen kortikalen „Emotionsregionen“ nachweisen, und die Arbeitsgruppe von *Adrian Raine*⁸ konnte im Gehirn von Mördern ebenfalls eine Unterfunktion in diesen emotional bedeutsamen präfrontalen Regionen nachweisen. Am Tiermodell wurden auf mikroskopischer Ebene auch langfristige strukturelle Veränderungen im Gehirn nach emotionaler Deprivation⁹ nachgewiesen. In den präfrontalen Regionen und in fast allen limbischen Kerngebieten wurden je nach Ausmaß der durchlebten Deprivation erhöhte oder erniedrigte Synapsendichten gefunden. Bei Tieren, die kurz nach der Geburt psychischem Stress ausgesetzt wurden und dann unter sozialen Isolationsbedingungen aufwuchsen, wurden dramati-

⁵ *Spitz, R.A.*, Vom Säugling zum Kleinkind. Naturgeschichte der Mutter-Kind-Beziehungen im ersten Lebensjahr, Stuttgart 1965.

⁶ *Skeels, H.M.*, Adult status of children with contrasting early life experiences: a follow up study, Monographs of the Society for Research in Child Development 105, Bd. 33 (3), 1966, S. 1–56.

⁷ *Rutter, M./Kreppner, J.M./O'Connor, T.G. & English and Romanian Adoptees StudyTeam*, Specificity and heterogeneity in children's responses to profound institutional privation, British Journal of Psychiatry 179, 2001, S. 97–103.

⁸ *Raine, A./Buchsbbaum, M.S./Stanley, J./Lottenberg, S./Abel, L./Stoddard, J.*, Selective reductions in prefrontal glucose metabolism in murderers, Biol. Psychiatry 36, 1994, S. 365–373.

⁹ Glossar: *Deprivation* = ein Mangel bzw. das völlige Fehlen von sensorischen, motorischen und emotionalen Umweltreizen, welcher die funktionelle Reifung des präfrontalen Kortex und wahrscheinlich auch das gesamte limbische System in vermutlich negativer Weise beeinflusst.

sche Veränderungen der dopaminergen und serotonergen Fasersysteme gemessen, die u. a. auch die präfrontalen Gehirnregionen massiv innervieren. Offenbar entwickeln sich also gerade die neurochemischen Systeme nur unvollkommen oder fehlerhaft die – wie wir im Folgenden sehen werden – bei der emotionalen Modulation und vor allem auch an Lern- und Gedächtnisprozessen beteiligt sind.

4 Lernen verändert das Gehirn

Die Erkenntnisse der Neurowissenschaften belegen eindrucksvoll, welche herausragende Bedeutung der Erziehung durch die Eltern und der durch staatliche Einrichtungen wie Kinderkrippe, Kindergarten und Schule angebotenen Bildung zukommt. Es kann gar nicht oft genug betont werden, dass insbesondere die *Erziehung in frühester Kindheit*, in der das Gehirn auch aufgrund der noch voranschreitenden Wachstumsprozesse noch sehr veränderbar ist, zu *dauerhaften hirnorganischen Veränderungen* führt, die die spätere intellektuelle und emotionale Leistungsfähigkeit des Individuums nachhaltig beeinflussen.

Was ist Lernen, was passiert beim Lernen im Gehirn? Als evolutionsbiologisch älteste und ursprünglichste Form des kindlichen Lernens kann das Spiel betrachtet werden. Aus psychologischer, pädagogischer, aber noch vielmehr auch aus biologischer Sicht ist seit langem klar, dass Spielen und Lernen gleichbedeutend sind. Bereits *Plato* wusste, dass spielerische Handlungen eine Vorbereitung auf Handlungsweisen im Erwachsenenalter sind, und er empfahl, Kindern Spiel- und Werkzeuge zu geben, um sie diese Fähigkeiten üben zu lassen. Auch Tiere lernen spielerisch, sich Verhaltensweisen anzueignen, die für das Überleben in freier Wildbahn überlebensnotwendig sind. Friedrich Schiller formulierte, „das Tier arbeitet, wenn ein Mangel die Triebfeder seiner Tätigkeit ist, es spielt wenn ein Reichtum an Kraft diese Triebfeder ist“, d.h. das Spiel entsteht nicht aus einem äußeren Zwang, sondern ist ein „Ventil“ für überschäumende „Kraft“, d.h. ein Ausdruck von Neugier, Wissensdurst, Kreativität. Lernen bedeutet also auch Spielen, d.h. Lernen macht Spaß und ist nicht notwendigerweise gekoppelt an das übliche Schulbankdrücken. Vorschulische Bildungsangebote sollten daher auf spielerische Weise die angeborene Neugier und das explorative Verhalten der Kinder ganzheitlich fördern.

Kinder *wollen* von sich aus, von Geburt an, viel lernen, sie gehen Dingen neugierig auf den Grund und sind dabei kaum zu bremsen. Das Gehirn „sucht“ sich seine Anregungen, es „sucht“ nach Abwechslung, und es versucht, Denk- und Erklärungskonzepte zu erstellen. Dieser seit langem bekannte, angeborene „Lerntrieb“ der Kinder wird derzeit hirnbilologisch aufgeschlüsselt, um dieser Rastlosigkeit, insbesondere des noch ganz jungen, unerfahrenen Gehirns auf den Grund zu gehen. Im Tierexperiment konnte gezeigt werden, dass ein Lernerfolg zu einem Glücksgefühl führt, welches über die Ausschüttung körpereigener „Glücksdrogen“ vermittelt wird. Insbesondere die Neurotransmitter Noradrenalin, Serotonin und Dopamin modulieren den Aufmerksamkeitszustand und die emotionale Grundstimmung. Die Arbeitsgruppe von *Henning Scheich* entdeckte kürzlich bei tierexperimentellen Untersuchungen, dass in dem Moment, in dem ein Tier eine Lernaufgabe „verstanden“ hat, d.h. wenn das Tier eine Verhaltensstrategie erlernt hat, also der „Groschen gefallen ist“ und ein „Aha“ Erlebnis erfolgte, im präfrontalen Cortex Dopamin ausgeschüttet wird¹⁰. Lernuntersuchungen von *Michael Gruß* in meiner Arbeitsgruppe haben kürzlich an Rattenkindern gezeigt, dass die pharmakologische Blockade dieser Dopaminausschüttung während des Lerntrainings das Lernen nahezu vollständig verhindert. Beim Menschen ist bekannt, dass Dopamin die Stimmung hebt (einige Drogen wie z.B. Kokain

¹⁰ Stark K./Bischof A./Scheich H., Increase of extracellular dopamine in prefrontal cortex of gerbils during acquisition of an avoidance strategy in the shuttle-box, *Neurosci. Lett.* 264, 1999, S. 77–80.

oder Amphetamine wirken über eine übersteigerte Dopaminfunktion), d.h. aus den Tierexperimenten lässt sich ableiten, dass ein Lernerfolg unmittelbar zu einem Glücksgefühl führt, und zwar über die „Droge“ Dopamin. Das kindliche Gehirn ist sozusagen von Natur aus „lernsüchtig“, es sucht nach dem „Kick“ und nutzt dabei in seiner offenbar unerschöpflichen Leistungskapazität für seine eigene Belohnung seine „hausgemachten Drogen“. Die Befunde aus der tierexperimentellen neurowissenschaftlichen Forschung belegt auch das, was ein guter Lehrer und Pädagoge intuitiv weiß und nutzt, nämlich dass die emotionale Beteiligung essentiell für höhere assoziative Lernprozesse ist. Zu beachten ist hierbei, dass es nicht unbedingt eine direkte Belohnung („Zuckerbrot“) sein muss, die den Lernprozess fördert, auch Anstrengung und leichter Stress („Peitsche“), bei denen andere Botenstoffe und auch Stresshormone ausgeschüttet werden, sind essentiell für den Lernerfolg. Vermutlich stellt für das Gehirn eine moderate emotionale „Achterbahnfahrt“ im Verlauf eines Lernvorganges die optimale Voraussetzung dar.

Lernen besteht nicht in passiver Wissensaufnahme („Nürnberger Trichter“), sondern ist ein aktiver Prozess, das Wissen *entsteht* im Netzwerk Gehirn selbst. Der Pädagoge *Heinrich Pestalozzi* wusste schon Ende des 18. Jahrhunderts, dass ideales Lernen nur mit „Kopf, Herz und Hand“ ablaufen kann. Die Hirnforschung kann nun nachweisen, weshalb dies so ist. Höhere assoziative Lernprozesse sind stark an Emotionen gekoppelt, was unter anderem auch daran liegen dürfte, dass das beteiligte Gehirnsystem, das limbische System, sowohl beim Lernen als auch bei der Verarbeitung und Steuerung von Emotionen eine herausragende Rolle spielt. Lernen und die damit verknüpften Emotionen verursachen im Gehirn die eingangs bereits im Detail erläuterten (schnellen) elektrischen und biochemischen und (langfristigen) strukturellen Veränderungen von Synapsen (= Informationskanäle). Das kindliche Gehirn kann in seiner enormen Leistungsfähigkeit kaum überfordert werden, die Gefahr liegt eher in einer Unterforderung. Es kann jedoch demotiviert werden, z.B. durch stupides „Pauken“ (nicht zu verwechseln mit gezieltem Wiederholen und Üben!), ständige Misserfolge, destruktive oder inkonsequente Kritik, Strafen, Demütigung.

Frühe Erfahrungen und Lernprozesse hinterlassen ihre „Abdrücke“ (Prägung!) im heranreifenden Gehirn, insbesondere im sich spät entwickelnden limbischen System, welches, wie bereits mehrfach betont, essentiell für die Lernleistungen ist. In der frühen Kindheit (den ersten 6 Jahren) wird hier jedoch weniger eine Enzyklopädie von Detailwissen angelegt, sondern es bilden sich eher eine Art „Grammatik“ des Denkens (Denkstrategien und -konzepte) und die „Sprache“ der Emotionen aus, die in der „Hardware“ (= limbisches System) im Gehirn manifestiert wird, etwa vergleichbar mit der Formatierung der Festplatte eines Computers. Hiermit werden die emotionalen und kognitiven Kapazitäten für das spätere Leben festgelegt, und eine Fehlfunktion des „Belohnungssystems“ im Gehirn wird zwangsläufig eine Lernbehinderung zur Folge haben. Hier wird jetzt auch klar, dass Defizite der intellektuellen, und insbesondere der emotionalen Umwelt während der frühkindlichen Entwicklungsphasen zu einer unterentwickelten, oder gar fehlerhaften Entwicklung emotionaler Schaltkreise und des Belohnungssystems“ im Gehirn führen müssen. Die bereits zitierten Studien an Heimkindern zeigen, dass insbesondere die offenbar besonders schwer oder gar nicht mehr korrigierbaren emotionalen „Sprachfehler“ oder „Verstummung“ (Gefühlsarmut) sich negativ auf die Lernleistungen und auf das gesamte soziale und emotionale Leben auswirken.

Lernen scheint auch den Energieverbrauch des Gehirns ökonomischer zu gestalten. Untersuchungen von *Henning Scheich* und Mitarbeitern an erwachsenen Versuchspersonen haben gezeigt, dass nach dem Erlernen einer einfachen akustischen Unterscheidungsaufgabe im Hörcortex eine geringere Aktivität auftritt während sich der erfolgreich trainierte Proband mit dieser Aufgabe beschäftigt, im Vergleich zu unerfahrenen, untrainierten Vergleichspersonen, die diese

Aufgabe noch nicht perfekt beherrschen¹¹. Es ist also nicht so, wie man es sich vielleicht intuitiv vorstellt, wenn man es z.B. mit einem hoch trainierten Muskel vergleichen würde, dass ein Gehirn als Folge eines Lernvorganges besonders stark aktiv ist, sondern im Gegenteil, beim Abruf einer geübten und daher ganz „lässig“ zu lösenden Aufgabe ist nur noch minimale Energie erforderlich, da der abgespeicherte Gedächtnisinhalt ganz gezielt abgerufen werden kann. Das noch unerfahrene oder untrainierte Gehirn muss hingegen beim Knobeln an einer neuen und kniffligen Aufgabe viele Regionen des Gehirns gleichzeitig aktivieren, bis die so oft fälschlicherweise für den „Aha-Effekt“ symbolisch verwendete „Birne“ vor Anstrengung „glüht“.

5 Wie funktioniert das Gedächtnis?

Was ist unser Gedächtnis, wie erinnern wir uns? Verhaltensbiologische und hirnbioologische Untersuchungen weisen darauf hin, dass wir beim Erinnern die Gedächtnisinhalte nicht als identische Kopien oder Abziehbilder abrufen, sondern dass wir das Erinnerte jedes Mal wieder neu rekonstruieren. Dieser Mechanismus erklärt vermutlich auch das Phänomen, welches jeder aus eigener Erfahrung kennt: wir erinnern uns oft noch an bestimmte besonders eindrucksvolle Szenen eines Films, den wir vor langer Zeit als Kind oder Jugendlicher einmal gesehen haben. Sehen wir die selben Szenen des Filmes viele Jahre später noch einmal, so sind wir meist verblüfft oder fast schockiert darüber, dass das Gesehene so wenig mit unserer Erinnerung übereinstimmt. Unsere Erinnerungen werden nicht wie ein Photo abgespeichert, welches immer wieder unverändert aus dem Album hervorgeholt werden kann, sondern sie gleichen eher einer Skizze, welche wir immer wieder aufs Neue versuchen detailgetreu nachzuzeichnen, wobei wir jedes Mal zwar die Grundidee oder -situation wiedergeben, jedoch weist jede Wiederholung kleine Abweichungen zum Original durch Weglassungen oder Ergänzungen auf (dieser Mechanismus verbirgt sich vermutlich auch hinter dem allseits bekannten Phänomen des „Jägerlateins“ oder des „Seemannsgarns“....)

Ein neuer „frischer“ Gedächtnisinhalt ist zunächst noch instabil, und muss sich erst über eine Rekonsolidierung, also ein Erinnern festigen. Diese Rekonsolidierung sollte optimalerweise im Verlauf von ca. 24 Stunden erfolgen, um eine Information im Langzeitgedächtnis zu stabilisieren. Während der instabilen Phase des Gedächtnisses besteht die Gefahr, dass der Gedächtnisinhalt gelöscht, bzw. genauer ausgedrückt, „überschrieben“ wird, wenn ein Erinnern nicht rechtzeitig aktiviert wird.

Was ist, und wie wird vergessen? Der Prozess des Überschreibens von labilen Gedächtnisinhalten wurde bereits als ein Mechanismus erwähnt. Darüber hinaus gibt es im menschlichen Gehirn aber tatsächlich auch die bereits von Freud vor fast 100 Jahren postulierten Mechanismen, die aktiv das Erinnern bestimmter Gedächtnisinhalte blockieren¹². Zu den Gehirnregionen, die dieses „aktive“ Vergessen steuern, gehören u.a. wieder der hier schon mehrfach hervorgehobene präfrontale Cortex und der anteriore cinguläre Cortex, d.h. Regionen, die die emotionale Wahrnehmung und die Kontrolle der eigenen Emotionalität steuern. Diese Regionen scheinen die Aktivität des Hippocampus, also der Region die u.a. für den Gedächtnisabruf zuständig ist, zu unterdrücken, so dass dieser seine Erinnerungsaufgabe nicht mehr wahrnehmen kann. Interessanterweise sind auch prämotorische cortikale Regionen an diesem Gedächtnisblockade-Prozess beteiligt, d.h. die Regionen, die auch die Ausführung von bewusst initiierten Bewe-

¹¹ Brechmann A./Scheich H., Hemispheric shifts of sound representation in auditory cortex with conceptual listening, *Cereb. Cortex* 15 (5), 2004, S. 578–587.

¹² Anderson, M.C./Ochsner, K.N./Kuhl, B./Cooper, J./Robertson, E./Gabrieli, S.W./Glover, G.H./Gabrieli, J.D., Neural systems underlying the suppression of unwanted memories, *Science* 303 (5655), 2004, S. 232–5.

gungsabläufen kontrollieren. Ein anschauliches Beispiel für eine solche Bewegungskontrolle ist, dass man, wenn man einen Blumentopf vom Fensterbrett fallen sieht, instinktiv bzw. reflexartig versuchen wird, ihn mit der Hand aufzufangen. Erkennt man jedoch während dieser Auffangbewegung plötzlich, dass es sich um einen stacheligen Kaktus handelt, wird man diesen begonnenen Bewegungsablauf des Auffangens sofort unterdrücken. Ähnlich könnte man sich die über den präfrontalen und cingulären Cortex vermittelte aktive Unterdrückung von unerwünschten, unangenehmen „schmerzhaften“ Erinnerungen als eine Art emotionale Schutzreaktion vorstellen.

6 Schließlich: Was können neurowissenschaftliche Erkenntnisse zu pädagogischen Konzepten beitragen?

Eltern, Erzieher und Lehrer sollten ein realistisches Konzept von den hirnbioologischen Mechanismen des Lernens, der Gedächtnisabspeicherung und des Gedächtnisabrufes besitzen. Aus dem bisher Dargelegten geht hervor, dass Lern- und Gedächtnisprozesse mit physiologischen biochemischen und strukturellen Veränderungen des Gehirns einhergehen. Die synaptischen Verknüpfungen, die im Verlauf von Lernvorgängen und beim Einspeichern und Abrufen von Gedächtnisinhalten aktiviert werden, stabilisieren sich im Netzwerk und stellen somit die „Hardware“ für nachfolgende Lernvorgänge bereit. Die im vorigen Abschnitt geschilderte initiale Instabilität des noch „jungen“ Gedächtnisses zeigt, wie essentiell es ist, die Inhalte, die an einem Schulvormittag gelernt wurden, innerhalb der folgenden 24 Stunden nochmals zu wiederholen, also das zu tun, was wir klassischerweise als Hausaufgaben bezeichnen. Es zeigt jedoch auch, wie leicht dieses instabile Gedächtnis überschrieben werden kann, z. B. wenn am Nachmittag statt der Hausaufgaben Fernsehsendungen oder Videospiele konsumiert werden, die in keinem logischen und sinnvollen Zusammenhang mit den Lerninhalten des Schulvormittages stehen. Um ein dauerhaftes Abspeichern des in der Schule Gelernten im Gedächtnis eines Schülers zu gewährleisten, ist daher die Ganztagsschule die optimale Einrichtung, in der am Nachmittag das morgens Gelernte gemeinsam von Schülern und Lehrern sinnvoll, – und durchaus auch mal ohne Schulbankdrücken –, wiederholt, und auch in neue Zusammenhänge integriert werden kann.

Der Mechanismus des aktiven Vergessens dokumentiert auch eine weitere essentielle, bereits mehrfach betonte Komponente des Lernens, die essentielle Beteiligung von Emotionen beim Lernen und bei der Gedächtnisabspeicherung, bzw. auch beim Gedächtnisabruf. Die Schule, bzw. der Lehrer muss erreichen, dass die Gedächtnisinhalte möglichst emotional positiv belegt sind, um den im vorigen Abschnitt geschilderten Prozess der Gedächtnisblockade von emotional negativ belegten Gedächtnisinhalten zu verhindern.

Die durch Lernen und Gedächtnisabspeicherung ausgelösten strukturellen Veränderungen im Gehirn sind besonders ausgeprägt beim frühkindlichen Lernen, das kindliche Gehirn verändert dabei seine neuronalen informationsverarbeitenden Netzwerke viel dramatischer als das erwachsene Gehirn. Wenn das Gehirn angeborenermaßen „von alleine“ lernt, wozu wird dann noch ein Lehrer benötigt? Lernen ist eine individuelle Eigenschaft des Gehirns eines jeden Menschen oder Tieres, und kann nicht von außen „verursacht“ werden in dem Sinne, dass durch bloße Außeneinwirkung oder Instruktion die neuronalen Veränderungen, die mit dem Lernprozess einhergehen, ausgelöst werden können. Lernen wird jedoch durchaus durch Außenreize angeregt und gefördert, und genau hier liegt das Arbeitsgebiet der Pädagogen. Was ist förderlich für den Lern- und Gedächtnisprozess? Im neurobiologischen Sinne ist das Lernen ein aktiver ganzheitlicher Prozess, bei dem verschiedene Gehirnregionen in einer bislang noch unvollkommen verstandenen Weise parallel aktiviert sind. Körperliche Aktivität, die mit kognitiver Aktivität

während des Lernens einhergeht, ist förderlich für den Lernprozess („Learning by doing“). Man konnte zeigen, dass beim „hands on“ Lernen, also z.B. beim experimentellen Lernen in einer Laborumgebung oder Laborschule, die Gehirnzentren die die Körperbewegungen steuern (also die motorische Komponente beim Experimentieren) nicht in räumlicher Nachbarschaft zu den Gehirnzentren liegen, die Aufmerksamkeit steuern und Problemlösungen erarbeiten (also die kognitiven Zentren). Eine alleinige Aktivierung der Bewegungszentren (z.B. beim Experimentieren) oder das alleinige verbale Präsentieren oder das Ausdiskutieren von Problemen reicht jedoch noch nicht aus, um einen Lernprozess im Gehirn des Schülers auszulösen, es müssen parallel dabei auch die kognitiven, limbischen Zentren aktiviert werden. Um solche entfernt liegenden Hirnregionen parallel zu aktivieren sind also „gating“ Mechanismen notwendig, die diese Gehirnmodule funktionell koppeln, was unter anderem auch dazu dient, die Aufmerksamkeit auf eine bestimmte Aufgabe zu fokussieren, indem ablenkende Reize abgeschwächt oder unterdrückt werden, die einen Lernprozess stören oder blockieren könnten.

Die fokussierte Aufmerksamkeit ist ein weiterer essentieller Aspekt für die Effizienz von assoziativen Lern- und Gedächtnisprozessen, sie wird gesteuert durch präfrontale cortikale Regionen und funktioniert für jede Person sehr individuell, da sie auch selektive Bewertungskriterien beinhaltet. Die frontalen corticalen Regionen steuern die kognitiven Aktivitäten des Gehirns in der Weise, dass bestimmte Sinnesreize verstärkt oder aber weggefiltert werden. Wir alle kennen das Phänomen, dass wir, wenn wir uns auf etwas bestimmtes besonders intensiv konzentrieren, relativ immun gegenüber kleineren Störfaktoren in der Umgebung sind, beispielsweise Geräusche in der unmittelbaren Umgebung. Erinnern wir uns daran, dass die Nervenzellen der präfrontalen corticalen Regionen, also die Zentren die die Aufmerksamkeit und Motivation steuern, multipel verschaltet sind mit den Regionen des limbischen Systems, dem Emotions- und Lernsystem. Es wurde bereits mehrfach dargelegt, dass Lern- und Gedächtnisprozesse wesentlich effizienter verlaufen, wenn wir emotional an einer Lernaufgabe beteiligt sind. Ein Fan des Pferderennsports muss nicht dazu gezwungen werden, sich jeden Abend eine halbe Stunde oder länger mit einem Buch über Details der englischen Rennpferdezucht oder Statistiken zu den Rennergebnissen der letzten Monate zu beschäftigen, seine emotionale Anteilnahme an diesem Thema lassen ihn die Welt um sich herum vergessen, Fakten werden ihm geradezu zufliegen und meist auf Anhieb im Gedächtnis haften bleiben. Jeder Lehrer weiß, dass sein Unterricht ein Kinderspiel wäre, wenn sich seine Schüler mit ebensolcher Begeisterung für den Biologie-Chemie- oder Mathematikunterricht interessieren würden, wie für Filmstars, Rocksänger oder Computerspiele. Daraus ergibt sich, dass die größte Schwierigkeit des Unterrichtens nicht so sehr in der didaktischen Aufbereitung und der Darstellung des Lernstoffes besteht, sondern darin, die Aufmerksamkeit des Schülers zu fokussieren und seine Motivation zu wecken, sich mit dem Lernstoff zu beschäftigen, ihn dafür zu begeistern und damit seine emotionale Beteiligung beim Lern- und Gedächtnisprozess zu wecken. Dieses Prinzip findet sich in fast allen klassischen und auch in neueren pädagogischen Konzepten, und kann weder durch reine „Kuschelpädagogik“ mit ausschließlicher Belohnung, noch mit Gewalt oder durch Drohungen erreicht werden. Die Erzeugung von Angst beim Schüler ist ein relativ einfach einzusetzendes, wenn auch nicht das effizienteste Mittel, und wurde schon von alters her im Unterricht (oft unbeabsichtigt) eingesetzt, z.B. in Form von Prüfungen, Benotungen etc. Einerseits ist eine milde negative emotionale Beteiligung durchaus für den Lernprozess förderlich, beispielsweise ist die ab und zu aufkeimende Furcht, sich vor der Klasse zu blamieren, oder den Lieblingslehrer zu enttäuschen, durchaus motivationssteigernd. In Tiermodellen, an denen die neuronalen Mechanismen von Lern- und Gedächtnisbildung experimentell untersucht werden, konnte nachgewiesen werden, dass neue Verhaltensstrategien zur Vermeidung von Strafe oder einer unangenehmen Situation tatsächlich sehr schnell erlernt werden. Andererseits wirkt sich die ständige Angst vor Schulversagen, Kritik und Demütigung durch den Lehrer und Mitschüler und endlose Serien von

Misserfolgserlebnissen als Dauerstress negativ auf die Lernmotivation und -effizienz aus, auch das konnte am Tiermodell gezeigt werden. Solche „lernverhindernden“ Einflüsse können vermutlich auch zur bereits erwähnten Blockade des Gedächtnisabrufes (aktives Vergessen) des in der Schule durchgenommenen Stoffes führen, und sie können das Einspeichern von Gedächtnisinhalten blockieren. Längerfristig kann einem Gehirn durch eine negative Lernumgebung und -situation seine angeborene Lernlust wieder abtrainiert werden. Solche lernunwilligen oder lernunfähigen Schüler werden dann oft viel zu schnell in sogenannte Förderklassen abgeschoben, und enden dann schließlich in den Einrichtungen für Lern“behinderte“, wo man dann mit viel Aufwand die fast erloschene Flamme der Neugier, Begeisterung und Lernlust und auch das meist verloren gegangene Selbstwertgefühl neu entfachen muss.

Die meisten Erzieher streben jedoch an, den Schüler positiv zu motivieren, sein Interesse am Lernstoff zu wecken und ihm Freude am Lernen zu vermitteln. Das Gehirn ist zwar von Natur aus wissbegierig und „lernsüchtig“, allerdings kommt kein Schüler mit dem Interesse an einem bestimmten schulischen Lernstoff auf die Welt. Wie also vorgehen? Hierbei könnte es für den Lehrenden nützlich sein, sich selbst einmal zurück zu erinnern, wie er/sie seinerzeit dazu kam, sich für ein bestimmtes Fach, ein Sachgebiet oder thematische Zusammenhänge zu interessieren und zu begeistern. Mancher mag sich hierbei kaum an einen bestimmten „Auslöser“ erinnern und ist der Meinung schon „seit er/sie Denken kann“ sich für eine bestimmte Thematik zu begeistern. Oft erinnert man sich aber doch an bestimmte Situationen, Personen oder Bücher, die das Interesse und die Begeisterung für ein bestimmtes Fach oder Themengebiet hervorgerufen oder zumindest verstärkt haben. Solche Erlebnisse und Situationen müssen den Schülern auch im Unterricht geboten werden, der Lehrer muss seinen Unterricht so emotional mitreißend gestalten, vor allem seine *eigene* Begeisterung auf die Schüler übertragen, dass der Funke auf die Schüler überspringt. Schüler haben sehr sensible Antennen dafür, was echte, und was eine aufgesetzte, geheuchelte Begeisterung ist, so dass es schwer fallen wird, die Schüler emotional „hinters Licht zu führen“. Die Schüler müssen sich als Person wertgeschätzt fühlen und erkennen können, dass ihr individueller Lernerfolg für den Lehrer von Bedeutung ist. Bei manchen Schülern ist der Lehrer in der glücklichen Lage, dass schon vorab eine positive, enthusiastische Grundeinstellung zum Lernen vorhanden ist. Diese Schüler haben höchstwahrscheinlich schon die Erfahrung gemacht, dass etwas Neues (kennen) lernen, insbesondere wenn es sich um knifflige Denkaufgaben handelt, das Gehirn „kitzelt“, d.h. sie quasi „antörnt“ (vermittelt über den „Dopamin-Kick“ oder die Ausschüttung der körpereigenen Opiate), und diese Schüler können gar nicht genug Denknüsse zu knacken bekommen. Die meisten Schüler müssen allerdings erst mehr oder weniger intensiv inspiriert und animiert werden, wobei darauf zu achten ist, dass man hier nicht in einen routinemäßigen Animationstrott mit immer den selben Motivationshilfen gerät, und dadurch die mehr oder weniger lerneifrigen Gehirne dann doch zu sehr langweilt. Die Kunst ist es, dem Schüler zu zeigen, dass er sich gerade mit der Lösung von kniffligen, schwierigen Lernaufgaben ein großartiges und besonders erhebendes Erfolgserlebnis verschaffen kann. Dies erfordert auch eine Stärkung des Selbstbewusstseins des Schülers, d.h. er muss eine innere Sicherheit erlangen, einer Lernaufgabe gewachsen zu sein und sie lösen zu können. Beginnt man schon sehr früh in der Kindheit mit diesem „Hochleistungstraining“, so kann man die neuronalen Verknüpfungen schaffen bzw. festigen, die diese Lernlust vermitteln und dann auch auf Dauer die Lernmotivation im Schüler manifestieren. Durch früh einsetzende Aktivierung der kindlichen „Lernmaschine“ wird man auch verhindern können, dass sich eine Lernunlust oder „Null Bock“ Einstellung gegenüber dem schulischen (und dann meist auch dem außerschulischen!) Lernen ausbilden kann.

Auch wenn es allgemein gültige geirnbilologische Regeln für das Lernen und die Gedächtnisfunktionen gibt, deren hirnbilologischen Mechanismen mitnichten schon alle im Detail er-

forscht sind, muss insbesondere auch beim schulischen Lernen beachtet werden, dass diese Funktionen sehr individuell sind. Jede Person lernt auf individuelle Weise, denn kein Gehirn gleicht in seinen neuronalen synaptischen Verschaltungen dem anderen, der „Geisteszustand“ eines jeden Menschen ist ganz unterschiedlich, und selbst wenn alle Personen die selbe Begebenheit oder Situation erleben, werden sie mental ganz unterschiedlich damit umgehen. Trotzdem vollziehen sich im Gehirn aller Beteiligten prinzipiell die selben neuronalen Mechanismen wenn etwas wahrgenommen, gelernt oder erinnert wird, aber jede Person besitzt individuelle Lernstrategien. Dies liegt unter anderem auch daran, dass die Auswahl der angebotenen (Lern-) Informationen nicht einer bewussten Kontrolle unterliegt, sondern von der individuellen Sinnhaftigkeit abhängt, also einer individuellen emotionalen und/oder kognitiven Bewertung. Somit erklärt sich auch, weshalb es so schwierig ist, allgemein gültige Regeln oder „Rezepte“ für das Lehren im Schulunterricht zu entwickeln.

Anhang: Weiterführende Literatur:

- Braun, K./Bock, J./Gruss, M./Helmeke, C./Ovtscharoff jr., W./Schnabel, R./Ziabreva, I./Poeggel, G., Frühe emotionale Erfahrungen und ihre Relevanz für die Entstehung und Therapie psychischer Erkrankungen, in: Strauss, B./Buchheim, A./Kächele, H. (Hrsg.), Klinische Bindungsforschung – Theorien-Methoden-Ergebnisse, Schattauer Verlag für Medizin und Naturwissenschaften, Stuttgart 2002.
- Braun, K./Helmeke, C., Neurobiologische Grundlagen der Bindung aus der tierexperimentellen Forschung., Kapitel in: Ursprünge und Frühentwicklungen von Bindungsbeziehungen: Ein Lehrbuch, 2004, S. 281–296.
- Braun, K./Lange, E./Metzger, M./Poeggel, G., Maternal separation followed by early social isolation affects the development of monoaminergic fiber systems in the medial prefrontal cortex of *Octodon degus*, Neuroscience 95, 2000, S. 309–318.
- Braun, K./Meier, M., Wie Gehirne laufen lernen oder: „Früh übt sich, wer ein Meister werden will!“ Gedanken zu einer interdisziplinären Forschungsrichtung „Neuropädagogik“, in: Zeitschrift für Pädagogik, 2004, S. 507–520.
- Gos, T./Becker, K./Bock, J./Malecki, U./Helmeke, C./Poeggel, G./Bogerts, B./Braun, K., Early neonatal and postweaning social emotional deprivation interferes with the maturation of serotonergic and tyrosine hydroxylase- immunoreactive afferent fiber systems in the rodent nucleus accumbens, hippocampus and amygdale, Neuroscience (im Druck).
- Poeggel, G./Helmeke, C./Abraham, A./Schwabe, T./Friedrich, P./Braun, K., Juvenile emotional experience alters synaptic composition in the rodent cortex, hippocampus and lateral amygdale, Proc Natl Acad Sci USA 100, 2003, 16137–16142.

Verf.: Prof. Dr. Anna Katharina Braun, Institut für Biologie, Abt. Zoologie/Entwicklungsbiologie der Otto-von-Guericke-Universität, Brennekestraße 6, 39118 Magdeburg