

Pauen, Sabina

Zeitfenster der Gehirn- und Verhaltensentwicklung: Modethema oder Klassiker?

Zeitschrift für Pädagogik 50 (2004) 4, S. 521-530

urn:nbn:de:0111-opus-48257

in Kooperation mit / in cooperation with:

BELTZ

<http://www.beltz.de>

Nutzungsbedingungen / conditions of use

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

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

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.
By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Kontakt / Contact:

peDOCS
Deutsches Institut für Internationale Pädagogische Forschung (DIPF)
Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft
Informationszentrum (IZ) Bildung
Schloßstr. 29, D-60486 Frankfurt am Main
E-Mail: pedocs@dipf.de
Internet: www.pedocs.de

Inhaltsverzeichnis

Thementeil: Gehirnforschung und Pädagogik

Ulrich Herrmann

Gehirnforschung und die Pädagogik des Lehrens und Lernens:
Auf dem Weg zu einer „Neurodidaktik“? 471

Norbert Sachser

Neugier, Spiel und Lernen:
Verhaltensbiologische Anmerkungen zur Kindheit 475

Gerald Hüther

Die Bedeutung sozialer Erfahrungen für die Strukturierung
des menschlichen Gehirns. Welche sozialen Beziehungen brauchen
Schüler und Lehrer? 487

Gerhard Roth

Warum sind Lehren und Lernen so schwierig? 496

Anna Katharina Braun/Michaela Meier

Wie Gehirne laufen lernen oder:
„Früh übt sich, wer ein Meister werden will!“. Überlegungen zu einer
interdisziplinären Forschungsrichtung „Neuropädagogik“ 507

Sabine Pauen

Zeitfenster der Gehirn- und Verhaltensentwicklung:
Modethema oder Klassiker? 521

Elsbeth Stern

Wie viel Hirn braucht die Schule? Chancen und Grenzen
einer neuropsychologischen Lehr-Lern-Forschung 531

Allgemeiner Teil

Axel Nath/Corinna M. Dartene/Carina Oelerich

Der historische Pygmalioneffekt der Lehrergenerationen
im Bildungswachstum von 1848 bis 1933 539

Norbert Wenning

Heterogenität als neue Leitidee der Erziehungswissenschaft.
Zur Berücksichtigung von Gleichheit und Verschiedenheit 565

Maya Kandler

Interessefördernde Aspekte beim Lernen mit Lernsoftware
aus der Sicht von Schülerinnen und Schülern 583

Diskussion

Klaus Prange

Über die Kunst des Rezensierens 606

Besprechungen

Rudolf Tippelt

Peter Faulstich: Weiterbildung – Begründungen Lebensentfaltender Bildung 613

Heidemarie Kemnitz

Friedrich Adolph Wilhelm Diesterweg: Briefe, amtliche Schreiben und Lebensdokumente aus den Jahren 1810 bis 1832 615

Rainer Kokemohr

Christian Niemeyer: Nietzsche, die Jugend und die Pädagogik. Eine Einführung 618

Dokumentation

Pädagogische Neuerscheinungen 623

Sabina Pauen

Zeitfenster der Gehirn- und Verhaltensentwicklung: Modethema oder Klassiker?

Zusammenfassung: Die Kooperation zwischen Neurowissenschaftlern und Entwicklungspsychologen lässt ein altes Thema in neuem Lichte erscheinen: Konnte man bis vor wenigen Jahren nur spekulieren, zu welchen Zeiten im Gehirn eines Kindes Veränderungen stattfinden, die nachhaltige Konsequenzen für seine Lernfähigkeit in einem definierten Bereich haben, so ist es heute möglich, das enge Ineinandergreifen von Hirnreifungsprozessen und lernsensiblen Phasen besser zu verstehen. Der vorliegende Beitrag macht dies am Beispiel des visuellen Lernens deutlich und diskutiert zugleich Chancen und Grenzen neuropsychologischer Entwicklungsforschung.

Allmählich dringt in das öffentliche Bewusstsein, was eigentlich schon lange keinen mehr überraschen sollte: Das menschliche Gehirn entwickelt sich, vor allem in den ersten Lebensjahren. Was macht diese alte Botschaft plötzlich so brisant? Dass der Kopf von Babys mit rasantem Tempo wächst, ist nichts Neues. Immerhin sind auch aus diesem Grund unsere Schädelknochen bis zum zweiten Lebensjahr noch nicht zusammen gewachsen. Aber danach passiert immer noch so einiges. Mütter merken das daran, dass sie mindestens jeden zweiten Winter eine neue Mütze kaufen müssen, weil die lieben Kleinen einen stetig größeren Dickschädel bekommen. Unter der Schädeldecke entstehen jedoch keine Hohlräume oder Muskeln, sondern was dort Platz greift, ist eine grauweiß schimmernde leicht glibberige Masse, die aus unzähligen kleinen grauen Zellen besteht: den Neuronen.

1. Bemerkungen zur Gehirnentwicklung

Wenn das Gehirn von Kindern wächst und sich gleichzeitig ihre geistigen Fähigkeiten erweitern, dann liegt die Vermutung nahe, dass diese Veränderungen etwas miteinander zu tun haben. Man könnte meinen, die Zunahme des Gehirnvolumens gehe auf eine steigende Anzahl von Neuronen zurück. Doch weit gefehlt: Die Menge der kleinen grauen Zellen in unserem Oberstübchen vergrößert sich insgesamt nur unwesentlich, nachdem wir einmal das Licht der Welt erblickt haben. Wohl gibt es einige Bereiche, in denen auch bei Erwachsenen noch neue Neurone gebildet werden können, doch gehen im Laufe des Lebens auch viele zugrunde (schätzungsweise etwa 200.000 pro Tag).

Diese Erkenntnis wirft Probleme auf. Wie kann man erklären, dass der Kopf von Kindern wächst und sich ihr Gehirnvolumen bis zur Pubertät verdreifacht, wenn die Anzahl der Neurone nicht steigt? Was wächst und verändert sich hier eigentlich? Auf diese Frage gibt es verschiedene Antworten. Die wichtigsten davon haben etwas mit dem Aufbau von Neuronen zu tun.

Jedes Neuron besitzt Dendriten, die sich vom Zellkörper aus wie die Äste eines Baumes verzweigen (vgl. Abb. 3 in dem Beitrag von Katharina Braun in diesem Heft, S. 511). Sie funktionieren als Antennen und empfangen chemische oder elektrische Signale von Nachbarzellen. Das dendritische Wachstum setzt dann ein, wenn ein Neuron zu Nachbarzellen Kontakt aufnimmt. Der Zeitpunkt und das Ausmaß dieser Veränderungen hängen sowohl von Reifungsprozessen als auch von dem Anregungsgehalt der Umwelt ab. Dendriten können in einzelnen Regionen des Gehirns über das ganze Leben hinweg wachsen, aber insgesamt finden die wichtigsten quantitativen Veränderungen in den ersten Lebensjahren statt.

Nervenimpulse, die über Dendriten den Zellkörper erreicht haben, werden von dort aus an andere Neurone weiter geleitet. Diese Aufgabe kommt dem Axon zu. Jedes Neuron hat davon genau eins. Axone gleichen Kabeln und sind in der Regel von einer weißen fettartigen Substanz umgeben, die eine Art Isolierschicht bildet: dem Myelin. Ein Neuron mit stark myelinisiertem Axon leitet Information sehr schnell weiter, während der gleiche Prozess bei einem gering isolierten Neuron viel langsamer abläuft. Die Myelinisierung fängt ca. im 5. Schwangerschaftsmonat an und setzt sich in manchen Bereichen des Gehirns bis zum 60. Lebensjahr fort. Global betrachtet sind die stärksten Zuwächse der Myelinschicht bis zum Ende des zweiten Lebensjahres zu verzeichnen. Im höheren Alter bildet sich die Myelinschicht teilweise wieder zurück. Verschiedene Wissenschaftler vertreten heute die Ansicht, dass die Höhe unserer Intelligenz wesentlich mit dem Grad der Myelinisierung des Gehirns zusammenhängt.

Am Ende des Axons befinden sich die synaptischen Endknöpfchen. Ihre Funktion entspricht der von Sendern. Sie übermitteln Signale zwischen Neuronen, indem sie chemische Stoffe (Neurotransmitter) ausschütten. Diese Botenstoffe erregen dann die Dendriten nachgeordneter Neurone. Ohne Synapsen wäre keine gezielte Kommunikation zwischen Gehirnzellen möglich. Ähnlich wie bei den Dendriten bestimmen bei den Synapsen Reifung und Erfahrung, in welchem Umfang sie an einem gegebenen Ort zu einer bestimmten Zeit gebildet werden. Auch in diesem Fall ist die Phase des stärksten Wachstums am Anfang des Lebens zu beobachten.

Die Größen- und Gewichtszunahme des menschlichen Gehirns ist also nicht auf die Vermehrung von Neuronen, sondern primär auf eine Zunahme der Verbindungen zwischen den Neuronen und die Isolierung ihrer Axone sowie das Wachstum der Synapsen zurückzuführen. Durch den Zuwachs an Dendriten und Synapsen verbessern sich unsere Möglichkeiten, Informationen miteinander zu verknüpfen und Signale auf verschiedenen Wegen weiter zu leiten. Durch die Myelinisierung der Axone wird im Wesentlichen die Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung erhöht. Beide Faktoren sind für Lernprozesse von zentraler Bedeutung. Sie spielen für die Entwicklung geistiger Fähigkeiten eine entscheidende Rolle.

Neben quantitativen Veränderungen nehmen auch eine Reihe qualitativer Veränderungen Einfluss auf Entwicklungsprozesse: So interessiert etwa, zu welcher Zeit Neurone innerhalb der 6-schichtigen Hirnrinde ihre endgültige Position gefunden haben und mit welchen anderen Neuronen sie dann Kontakt aufnehmen. Ferner müssen wir wissen, zu welcher Zeit bestimmte Hormone oder andere Neuromodulatoren (vgl. dazu die

Hinweise in dem Beitrag von Gerhard Roth in diesem Heft) an verschiedenen Orten im Gehirn wirksam werden. Allen diesen Veränderungen ist gemeinsam, dass sie durch interne Reifungsprozesse gesteuert werden und bedeutsame Konsequenzen für das menschliche Verhalten haben.

2. Die Aufgaben der neuropsychologischen Entwicklungsforschung

Ein wichtiges Ziel der Entwicklungsforschung besteht heute darin, das komplexe Wechselspiel zwischen biologischen und psychologischen Veränderungen über die Lebensspanne genauer zu verstehen. Diesem Ziel kann man nur dann näher kommen, wenn Erkenntnisse unterschiedlicher Fachdisziplinen kombiniert werden: Erstens müssen Neurowissenschaftler mehr über das *Timing* und die *Lokalitäten* physiologischer Veränderungen im Gehirn herausfinden. Entsprechende Beschreibungen sind aber nur dann wirklich nützlich, wenn zweitens bekannt ist, *wofür* die betreffenden Hirnregionen zuständig sind. Hier hat die neuropsychologische Forschung der vergangenen Jahre enorme Fortschritte gemacht. Konnte man zunächst nur durch Fallbeschreibungen von Patienten erfahren, was passiert, wenn Teile des Gehirns nicht mehr normal arbeiten (z.B. aufgrund einer Hirnverletzung), so ist es seit Einführung bildgebender Verfahren möglich, auch gesunden Menschen beim Denken in das Gehirn zu schauen. Jetzt kann man sehen, wo die größte Aktivität von Nervenzellen zu verzeichnen ist, wenn wir eine gegebene Aufgabe lösen. Doch noch ein dritter Baustein ist entscheidend, um die Beziehung zwischen Gehirn und Verhalten im Entwicklungsverlauf verstehen zu können: Ohne fundiertes entwicklungspsychologisches Wissen bleibt nämlich unklar, welche Kompetenzen sich auf welche Weise mit dem Alter verändern. Im Schnittpunkt dieser drei Forschungsrichtungen kristallisiert sich derzeit ein neues Wissenschaftsgebiet heraus: die neuropsychologische Entwicklungsforschung.

Wissenschaftler, die auf diesem Gebiet arbeiten, zeigen besonderes Interesse an der frühkindlichen Entwicklung, weil sich gerade in dieser Phase besonders viel in unserem Kopf und in unserem Verhalten tut. Mit immer ausgefeilten Methoden untersucht man inzwischen die Prozesse der Informationsverarbeitung bei Babys und stellt fest, zu welchen Wahrnehmungs-, Denk-, und Erinnerungsleistungen die Kleinen in der Lage sind. Eine zweite kritische Phase der Gehirn- und Verhaltensentwicklung ist die Pubertät. Auch hier finden noch einmal umwälzende biologische Reifungsprozesse statt, die sich nicht auf die Hormonausschüttung und die damit einhergehenden Veränderungen der inneren und äußerer Geschlechtsmerkmale beschränken, sondern auch das Gehirn betreffen. Schließlich interessiert das hohe Alter, wo vor allem der Abbau mentaler Funktionen und seine Zusammenhänge mit Abbauprozessen im Neuronennetz untersucht werden.

3. Das Konzept der kritischen Zeitfenster als lernsensiblen Entwicklungsphasen

Von einem kritischen Zeitfenster oder einer lernsensiblen Entwicklungsphase spricht man immer dann, wenn Erfahrungen in einem gegebenen Alter prägende Wirkung für das ganze weitere Leben haben und zu unumkehrbaren Veränderungen des Verhaltens führen (vgl. Bailey et al. 2001). Dieses Thema ist ebenfalls nicht neu: Wir kennen es aus der Verhaltensforschung mit Tieren. Konrad Lorenz stellte fest, dass Gänseküken unterschiedlichste Dinge, die sie in einem definierten Zeitfenster nach dem Schlüpfen sahen, fortan als Leittier akzeptierten. Ausgehend von dieser Beobachtung vermutete man, dass es ähnliche Prägungsphasen für das Bindungsverhalten bei Menschenkindern geben könnte und leitete so die Bewegung des *Rooming-in* in Frauenkliniken ein. Bei allen positiven Konsequenzen, die dieses *Rooming-in* für Mutter und Kind hat, bleibt festzuhalten, dass es bislang keine gesicherte Evidenz für eine Prägungsphase beim Menschen gibt, die der von Graugänsen auch nur annähernd vergleichbar wäre.

Neuen Auftrieb erhält die Zeitfenster-Idee durch Erkenntnisse der modernen Gehirnforschung. Hier fand man zunächst durch Untersuchungen an Tieren heraus, dass die Art und der Grad neuronaler Vernetzung in bestimmten Entwicklungsphasen von Umwelteinflüssen abhängen. Fehlen in einer kritischen Phase jene Reize, die das Gehirn normalerweise erwartet, dann führt das zu Abbauprozessen und Umstrukturierungen von Kontaktstellen zwischen Neuronen, die sich in veränderten oder sogar gestörten Entwicklungsverläufen niederschlagen können. Diese Feststellung hat Eltern und Pädagogen hellhörig gemacht – wohl auch deshalb, weil wir alle Angst haben, sensible Lernphasen in der Entwicklung zu übersehen und damit die Chance zu vergeben, unseren Kindern zur rechten Zeit das richtige „Gehirnfutter“ zu geben. Heute diskutieren wir über die Frage, ob es sensible Lernfenster der Entwicklung gibt, im Zusammenhang mit unterschiedlichsten Themen: sei es der Erst- oder Zweitspracherwerb, das Erlernen eines Instrumentes, die Vermittlung von moralischen Werten oder einer guten Arbeitshaltung, das Selbstvertrauen und vieles mehr. Ist das wieder einfach eine neue Mode oder steckt doch mehr dahinter?

Diese Frage lässt sich am besten an einem konkreten Beispiel diskutieren. Nachfolgend soll ein Bereich angesprochen werden, über den wir schon vergleichsweise viel wissen: die visuelle Wahrnehmung. Hier wird deutlich, dass die Vorstellung von einem kritischen Zeitfenster eine Vereinfachung darstellt, weil tatsächlich immer viele Entwicklungsprozesse ineinander greifen und voneinander abhängen, damit Erfahrungen in einer gegebenen Phase der Entwicklung tatsächlich prägende Wirkung haben. Gleichzeitig lassen sich an diesem Beispiel die grundlegenden Mechanismen des komplizierten Wechselspiels zwischen Anlage und Umwelt, die im Verlauf der Entwicklung unsere Gehirnstrukturen prägen, besonders klar darstellen:

Wenn ein Kind auf die Welt kommt, kann es noch nicht besonders gut sehen. Dafür gibt es verschiedene Gründe. Zunächst sind seine Linsen und seine Augenmuskulatur noch nicht voll ausgereift. Aber auch im visuellen Cortex – jenem Teil der Hirnrinde also, der am hinteren Ende des Kopfes zu finden ist und wo die Seh-Information verarbeitet

wird – finden wichtige Entwicklungsschritte erst nach der Geburt statt. Dafür gibt es einen plausiblen Grund: Weil das Kind vor der Geburt seine Augen die meiste Zeit geschlossen hat und es in der Gebärmutter ohnehin nicht viel zu sehen gibt, fehlen visuelle Informationen, die das Gehirn stimulieren könnten, um die richtigen Kontaktstellen auszubilden. Schon hier zeigt sich, dass Reifung nicht alles ist. Selbst bei einer so elementaren mentalen Fähigkeit wie dem Sehen brauchen wir Information von außen, damit sich unser Gehirn richtig entwickeln und dann angemessene geistige Leistungen erbringen kann.

Obwohl sich die Anzahl der Neurone postnatal kaum verändert, scheinen viele Nervenzellen ihre endgültige Position innerhalb der mehrschichtigen Hirnrinde erst mit etwa einem halben Jahr erreicht zu haben. Das hat Konsequenzen für die Verschaltung mit anderen Zentren im Gehirn, wie etwa mit Regionen, die für die Aufmerksamkeitssteuerung oder die Steuerung der Blickbewegungen verantwortlich sind. Parallel zu diesem Prozess der Positionierung von Neuronen innerhalb des visuellen Cortex finden weitere biologische Veränderungen statt. So vergrößert sich die Dichte der Synapsen in mehreren Schüben: Von der Geburt bis zum 3. Lebensmonat ist zunächst ein langsamer Anstieg der Synapsendichte zu verzeichnen. Darauf folgt eine Phase der massiven Steigerung, bis sich der ursprüngliche Wert mit 10 Monaten mehr als verdoppelt hat. Doch dieses hohe Niveau bleibt nicht erhalten. Die Synapsendichte sinkt bis zur Pubertät auf $\frac{2}{3}$ des Maximalwertes ab und bleibt dann bis ins mittlere Erwachsenenalter weitgehend konstant. Zunächst wird also ein Überschuss produziert und anschließend ausgewählt, welche Verbindungen zwischen Neuronen langfristig erhalten bleiben müssen und welche wieder abgebaut werden können. Dabei haben natürlich jene Synapsen die besten Chancen, die auch wirklich gebraucht werden. Aber warum betreibt die Natur den Aufwand, zunächst zu viele Verbindungen herzustellen und sie dann bereits im Verlauf der Kindheit wieder zu kappen? Wovon hängt es ab, zu welchem Zeitpunkt in der Entwicklung der Überschuss produziert wird und wann der Abbau beginnt? Und was entscheidet schließlich darüber, ob eine gegebene Verbindung nützlich ist und erhalten bleibt? Antworten auf diese Fragen findet man erst, wenn Erkenntnisse der Neurowissenschaften mit denen der Entwicklungspsychologie gekoppelte werden.

4. Neuropsychologische Entwicklungsforschung am Beispiel der visuellen Wahrnehmung

Die Neurowissenschaft lehrt uns, dass für das Timing und den Umfang der Ausbildung neuronaler Netze primär genetisch determinierte Reifungsprogramme verantwortlich sind. Allerdings ist auch bekannt, dass bei fehlender visueller Stimulation die Bildung neuer Synapsen deutlich geringer ausfällt als sonst. Ferner weiß man, dass bei blind geborenen Kindern jene Hirnbereiche, die ursprünglich für das Sehen angelegt waren, für die Verarbeitung anderer Sinnesinformation genutzt werden. Diese Beobachtungen belegen, dass das reifungsgesteuerte Programm nicht vollautomatisch abläuft, sondern seinerseits auf geeignete Stimulation von außen angewiesen ist. Wieder greifen also Anlage und Umwelt ineinander.

Wie sich die Verarbeitung visueller Information von Kindern in den ersten Lebensjahren verändert, haben Entwicklungspsychologen untersucht. Sie konnten feststellen, dass die Sehfähigkeit von Säuglingen im ersten Lebensjahr massive Fortschritte macht. Nimmt ein Neugeborenes seine Umwelt noch wie durch einen Nebelschleier wahr und erkennt nur die Außenkonturen von Personen und Objekten, die starke Helligkeitskontraste aufweisen, so erreicht die Sehschärfe und die Kontrastsensitivität bis zum 8. Lebensmonat weitgehend Erwachseneniveau. Gleiches gilt für die Farb- und Formwahrnehmung. Auch hier sind Grundfähigkeiten schon beim Neugeborenen nachweisbar, die innerhalb weniger Wochen und Monate aber noch deutlich ausgebaut werden.

Beim räumlichen Sehen prägen Erfahrungen die Art der Verschaltung zwischen Neuronen: Kinder müssen zunächst lernen, die Informationen aus beiden Augen so zu koordinieren, dass ein einheitliches Bild im Gehirn entsteht. Dafür werden im primären visuellen Cortex so genannte *Ocular Dominance Columns* gebildet. Das sind Neuronenverbände, die säulenartig verschaltet sind, wobei für einen kleinen Ausschnitt der Realität die visuellen Signale beider Augen in jeweils benachbarten Säulen der Hirnrinde ankommen. Die Bildung von Dominanzsäulen findet typischerweise zwischen dem 3. und 4. Lebensmonat statt. Aus Tierversuchen weiß man, dass es für Kätzchen weitreichende Bedeutung hat, ob sie in dieser frühen Phase des visuellen Wahrnehmungslernens mit beiden Augen oder nur mit einem Auge sehen. Steht nur Information von einem Auge zur Verfügung, verschalten sich die Neuronen im visuellen Cortex anders als normal und die erwachsene Katze kann nie mehr wieder lernen, richtig räumlich zu sehen. Ähnliches wird auch von Kindern berichtet, die schielen, bei denen die Sehschärfe zwischen beiden Augen stark variiert oder bei denen ein Auge in der kritischen Phase nicht funktionsfähig ist. Werden hier zu lange keine geeigneten Maßnahmen ergriffen, dann hat das negative Konsequenzen für die spätere Sehfähigkeit.

Am Beispiel des räumlichen Sehens zeigt sich überdies, dass die Entwicklung des visuellen Sinnes nicht isoliert von anderen Bereichen betrachtet werden darf. Räumliches Sehen wird wesentlich beeinflusst durch wachsende motorische Kompetenzen und eine verbesserte Handlungssteuerung des Kindes: Weil ein Neugeborenes seinen Kopf zunächst noch nicht ohne Unterstützung aufrecht halten kann, fällt es ihm auch schwer, einem bewegten Gegenstand mit dem Blick zu folgen. Dafür braucht es neben der Kontrolle über die Hals- und Schultermuskulatur auch die Kontrolle über seine Blickbewegungen. Weil Neugeborene ihre Augenmuskulatur noch nicht sehr gut steuern können, hinkt der Blick von jüngeren Babys einem sich rasch bewegendem Zielobjekt zunächst hinterher und man kann sehen, dass die Augenbewegungen ziemlich ruckartig erfolgen. Diese ruckartigen Bewegungen werden vermutlich subkortikal – das heißt: ohne Beteiligung der Hirnrinde – gesteuert und erst mit ca. 3-4 Lebensmonaten durch kortikal kontrollierte geschmeidige Blickfolgebewegungen abgelöst. Dafür sind die frontalen Augenfelder im Stirnlappen des Gehirns wichtig. Auch später gibt es aber noch auffällige Veränderungen der Blicksteuerung.

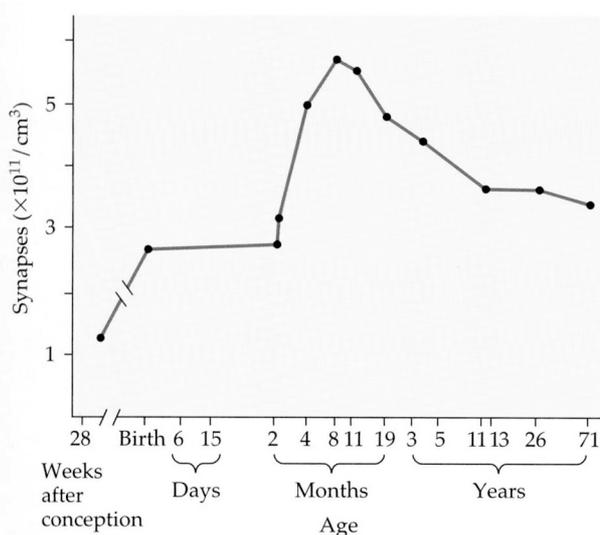
So kann man bei Kindern zwischen 4 und 8 Monaten ein Phänomen beobachten, dass man *obligatorisches Schauen* nennt. Hat das Baby einmal einen Gegenstand mit den Augen fixiert, klebt sein Blick förmlich daran und es gelingt ihm nur schwer, seine Auf-

merksamkeit wieder davon zu lösen. Erst in der zweiten Hälfte des ersten Lebensjahres verliert sich die entsprechende Verhaltenstendenz und macht so einen flexibleren Einsatz des Sehsinns möglich. Solche Entwicklungen werden unter anderem mit der Platzierung und Verschaltung von Neuronen innerhalb der Hirnrinde des visuellen Cortex in Verbindung gebracht. Aber auch in den für die Bewegungssteuerung relevanten Bereichen des Frontalcortex und in jenen Regionen, die für die Aufmerksamkeitssteuerung wichtig sind (z.B. der Cinguläre Cortex) finden parallel Reifungsprozesse statt. Im Gehirn gibt es also parallel gleich mehrere Regionen, die für das Sehverhalten von Säuglingen wichtig sind und auf denen innerhalb des ersten halben Lebensjahres viel passiert.

Auch die fehlende Kontrolle der Motorik von Armen, Händen und Beinen schränkt die visuelle Erfahrung von jüngeren Säuglingen ein: Babys sind darauf angewiesen, dass ein Erwachsener sie herumträgt oder ihnen einen Gegenstand reicht, damit sie damit spielen können. Ansonsten liegen sie auf dem Rücken und sehen nur einen sehr begrenzten Ausschnitt der Realität. Aber selbst wenn ihnen das Spielzeug in die Hand gedrückt wird, können sie es noch nicht gezielt mit den Händen manipulieren. All dies ändert sich gegen Mitte des ersten Lebensjahres, wenn das Kind lernt, sich robbend oder krabbelnd fortzubewegen und aufrecht zu sitzen. Nun kann es interessante Objekte drehen und aus verschiedenen Perspektiven betrachten, sich ihnen annähern oder sich von ihnen entfernen. Damit erfährt es den ihn umgebenden Raum und die darin befindlichen Gegenstände in einer wesentlich differenzierteren Weise als zuvor.

Genau zu jener Zeit also, wenn im Normalfall das Auge, der Sehnerv, die Augenmuskulatur, die Blickkontrolle sowie die visuelle Aufmerksamkeitssteuerung hinreichend entwickelt sind und durch motorische Fortschritte viele neue Reize zugänglich werden, lässt sich im visuellen Cortex eine interessante und auffällige Beobachtung machen. Die Synapsendichte steigt dramatisch an. Der Zeitpunkt ist gut gewählt, denn nun ist das Kind optimal vorbereitet, visuelle Information aufzunehmen und die Besonderheiten

seiner Lebensumwelt in komplexer Weise zu erfassen. Was jetzt darüber entscheidet, welche Synapsen wieder abgebaut werden und welche weiter existieren, lässt sich am ehesten durch die einfache Parole „Use it or loose it“ ausdrücken: Die konkreten Erfahrungen des Säuglings determinieren, welche visuelle Information für seinen Organismus bedeutsam sind und welche nicht. Überflüssige Kontaktstellen zwischen Neuronen baut der Körper wieder ab.



Bei diesem Abbauprozess dürfte die Qualität der Umwelt eine entscheidende Rolle spielen. Ein Säugling, der seine ersten Lebensmonate in einer Großstadtmetropole verbringt, hat ganz andere visuelle Eindrücke als ein Säugling, der im Urwald aufwächst. Es ist plausibel anzunehmen, dass diese Unterschiede prägenden Einfluss auf die visuelle Wahrnehmung haben. Da aber fast jede Umwelt auf unserer Erde Eindrücke vermittelt, die auf abstrakterer Ebene eine Vielzahl von Parallelen aufweisen, ist davon auszugehen, dass die Unterschiede in der Prägung zwischen Kulturen geringer ausfallen als die Gemeinsamkeiten. Sonst hätten wir nämlich auch Schwierigkeiten, uns als Touristen in fremden Ländern visuell zu orientieren.

Empirische Belege für die Bedeutung von konkreter Erfahrung in der „heißen Phase“ der Selektion von synaptischen und dendritischen Verbindungen liefern zum einen klinische Studien, die belegen, dass Kinder, die aufgrund einer unbemerkten Hornhaut-eintrübung in den ersten Lebensjahren nicht genug visuelle Stimulierung erhielten, später auch nach geeigneter Behandlung, die ihre Sehfähigkeit prinzipiell wieder voll herstellt, nie mehr so differenziert wahrnehmen können wie Kinder ohne entsprechende Vorgeschichte. Aber auch neuere Untersuchungen an gesunden Kindern bringen zum Teil erstaunliche Einsichten wie etwa am Beispiel der Gesichterwahrnehmung deutlich wird:

Einiges spricht dafür, dass Kinder mit einer angeborenen Präferenz für Gesichter zur Welt kommen. So schauen sie sich offensichtlich besonders gerne grafische Darstellungen oder Fotos von Gesichtern an, wenn das so genannte „3-Blob-Schema“ erfüllt ist. Damit ist gemeint, dass innerhalb eines hellen Ovals, das sich deutlich vom Hintergrund abhebt, drei dunkle Punkte in einer spezifischen Anordnung zu erkennen sind: zwei oben auf gleicher Höhe (Augen) und eines darunter in der Mitte zwischen den beiden oberen (Mund). Solchen Reizen folgen schon Neugeborene, aber auch wenige Tage bzw. Wochen alte Säuglinge mit den Augen und betrachten sie länger als andere Reize vergleichbarer Komplexität. Johnson und Morton, zwei amerikanische Wissenschaftler, die sich eingehend mit dem Thema befasst haben, sehen hierin einen neurologisch verankerten Gesichter-Erkennungsdienst des Menschen, der jedoch nur grob Gesichter von Nicht-Gesichtern unterscheidet. Mit 3-4 Monaten arbeitet dieser Erkennungsdienst nach Vorstellung der Autoren schon wesentlich präziser. Entwicklungspsychologen können nun beobachten, dass Säuglinge ganz bewusst auf bestimmte Gesichtsmerkmale (Augen, Nase, Mund) ihres Gegenübers schauen. Sie lernen, einzelne Gesichter auf der Grundlage ihrer Kopf-, Augen-, Nasen- und Mundform zu identifizieren und nehmen auch emotionale Ausdrücke genauer wahr. Wie neue Studien belegen, sind Kinder zwischen 5 und 9 Monaten auf diesem Gebiet ganz besondere Experten. In mancher Hinsicht sind ihre Erkennungsleistungen sogar besser als die von Erwachsenen. So können sie nicht nur Menschen-Gesichter sehr gut voneinander unterscheiden, sondern auch Affengesichter. Gegen Ende des ersten Lebensjahres lässt das entsprechende Differenzierungsvermögen wieder nach. Älteren Kindern und Erwachsenen fällt es nun sogar schwer, Gesichter innerhalb fremder ethnischer Gruppen ihrer eigenen Spezies (z.B. Gesichter von Asiaten oder Afrikanern) auseinander zu halten.

5. Schlussfolgerungen

Welche allgemeinen Schlussfolgerungen in Bezug auf kritische Zeitfenster lassen sich aus diesem Beispiel ableiten? Die erste und zweifellos wichtigste Botschaft lautet, dass vieles für die Existenz sensibler Phasen spricht und wir mehr über sie herausfinden sollten. Dabei darf man sich von interdisziplinärer Forschung im Schnittfeld zwischen Neurowissenschaften und Entwicklungspsychologie langfristig durchaus praxisrelevante Erkenntnisse versprechen. Im ersten Schritt aber gilt es, das Phänomen für einzelne Funktionsbereiche möglichst präzise zu beschreiben. Mag in manchen Fällen die Beobachtung von auffälligen Schüben der Hirnreifung die gezielte Suche nach Veränderungen im Verhalten motivieren, so wird es in anderen Fällen genau umgekehrt sein. Findet man dabei zeitlich und inhaltlich korrelierte Prozesse – wie dies auf die visuelle Wahrnehmung zutrifft –, dann gibt es gute Gründe zu vermuten, dass man tatsächlich ein kritisches Zeitfenster entdeckt hat. Im nächsten Schritt kann man sich mit Pädagogen zusammen tun und überlegen, welche Anregungen in dieser lernsensiblen Phase positive Wirkungen auf die weitere Entwicklung haben könnten, um anschließend in gezielten Trainingsstudien zu überprüfen, wie sich entsprechende Maßnahmen auswirken.

Die zweite wichtige Schlussfolgerung bezieht sich auf die Differenziertheit, mit der das Thema diskutiert werden sollte. Auch wenn man eine spezielle geistige Leistung herausgreift, wird bei genauerem Hinsehen rasch deutlich, dass es sich in der Regel um ein aus vielen Teilkompetenzen bestehendes Gefüge handelt. So unterscheidet man innerhalb der visuellen Wahrnehmung die Sehschärfe, Farb-, Form- Muster- und Gesichtserkennung, die räumliche Wahrnehmung und die Bewegungswahrnehmung, wobei jede Teilkompetenz ihre eigenen Entwicklungsverläufe aufweist. Doch damit nicht genug: Das komplexe Gefüge von Teilkompetenzen ist außerdem eng an Veränderungsprozesse gekoppelt, die andere Funktionsbereiche betreffen (wie etwa die Aufmerksamkeitssteuerung oder die Motorik im Fall der visuellen Wahrnehmung).

Alles in allem gleicht das sich entwickelnde Gehirn einer Großbaustelle mit vielen verschiedenen Bauabschnitten, die alle etwas miteinander zu tun haben. Manche Stockwerke können erst entstehen, wenn andere fertig sind, manche Gebäudeteile wachsen von verschiedenen Seiten aus zusammen und wieder andere können unabhängig voneinander konstruiert werden. Wir müssen möglichst viel über die Verbindung zwischen einzelnen Funktionsbereichen und über das Timing von Reifungsprozessen in verschiedenen Hirnarealen wissen, wenn wir die Entwicklung mentaler Fähigkeiten wirklich verstehen wollen. Die Vorstellung von *einem* kritischen Zeitfenster für eine gegebene Funktion bleibt letztlich immer eine Vereinfachung.

Und noch ein dritter Aspekt soll hier diskutiert werden: Unterstellen wir einmal, wir wüssten genau, wann Kinder unter welchen Umständen für eine bestimmte Art von Information besonders aufnahmebereit sind. Angenommen, die oben geschilderten Hinweise auf eine lernsensible Phase für die Gesichterdifferenzierung ließen sich erhärten. Sollte man deshalb alle Kinder zwischen 5 und 9 Monaten regelmäßig mit Fotos fremdländischer Gesichter konfrontieren? Was hätten wir von einem solchen Training, wenn die betreffende Kompetenz später nicht wirklich gebraucht wird? Kinder sind in der Re-

gel immer dann am besten an ihre Umwelt angepasst, wenn diese sich in den lernsensiblen Phasen so darstellt wie sonst auch. Es gilt also sehr wohl abzuwägen, was man mit dem Wissen über kritische Zeitfenster macht. Das ist eine Wertefrage – nicht alles was lernbar ist, ist auch sinnvoll zu lernen. Zudem wissen wir noch wenig über die Kosten besonderer Trainingsmaßnahmen. Immerhin funktioniert die Informationsverarbeitung nicht automatisch dann am besten, wenn Signale breit gestreut werden (wie dies der Fall ist, wenn viele Verbindungen zwischen Neuronen existieren und durch ein gezieltes Training künstlich aufrechterhalten werden). Im Gegenteil: Ein zentraler Aspekt von Lernen besteht gerade darin zu unterscheiden, was wichtig und was unwichtig ist, damit man seine Energie auf die Verarbeitung relevanter Informationen konzentrieren kann. Das gilt in der heutigen Zeit wohl mehr denn je. Kinder in unserer Kultur dürften eher mit einem Überangebot an Reizen konfrontiert sein als Gefahr zu laufen, in lernsensiblen Phasen nicht genügend stimuliert zu werden. Zumindest trifft das auf den visuellen Bereich zu. Anders mag es sich mit motorischer oder sprachlicher Anregung verhalten. Auch hier wird derzeit die Bedeutung von kritischen Zeitfenstern diskutiert und es bleibt zu wünschen, dass wir recht bald mehr darüber erfahren. Eins scheint nämlich sicher: Der alte Spruch „Was Hänschen nicht lernt, lernt Hans nimmer mehr“ wird Psychologen und Pädagogen noch lange beschäftigen. Das Phänomen lernsensibler Phasen hat durch die moderne Hirnforschung neue Aktualität gewonnen. Es ist kein Modethema sondern ein Klassiker ...

Weiterführende Literatur

- Bailey, D./Bruer, J./Symons, F./Lichtman, J. (2001): *Critical Thinking about Critical Periods*. Baltimore, MD : Paul H. Brooks Publishing Co.
- De Haan, M./Johnson, M. (Hrsg.) (2003): *The cognitive neuroscience of development*. Hove: Psychology Press.
- Johnson, M. (1999): *Developmental cognitive neuroscience – An introduction*. Oxford: Blackwell Publisher.
- Johnson, M./Munakata, Y./Gilmore, R.O. (Hrsg.) (2002). *Brain development and cognition – A reader*. Oxford: Blackwell Publisher.
- Nelson, C.A./Luciana, M. (Hrsg.) (2001). *Handbook of developmental cognitive neuroscience*. Cambridge, MA: MIT Press.

Abstract: *The cooperation between neuroscientist and developmental psychologists casts a new light on an old topic: while, up to a few years ago, we could only speculate as to the time frames of changes occurring in a child's brain which had a long-term influence on the latter's learning abilities in a defined field, today, it is possible to better understand the close interlocking of the maturing processes of the brain with learning-sensitive phases. The author sketches this development on the basis of the example of visual learning and discusses prospects and limits of neuro-psychological developmental research.*

Anschrift der Autorin:

Prof. Dr. Sabina Pauen, Psychologisches Institut, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg,
Hauptstraße 47-51, 69117 Heidelberg, E-Mail: sabina.pauen@psychologie.uni-heidelberg.de.