



## **Enquetekommission "Chancen für Kinder"**

Rahmenbedingungen und Steuerungsmöglichkeiten für ein optimales Betreuungs- und Bildungsangebot in Nordrhein-Westfalen

# **Neurowissenschaftliche Aspekte der Erziehung, Bildung und Betreuung von Kleinkindern**

Expertise von

**Prof. Dr. Anna Katharina Braun**

**Otto von Guericke Universität Magdeburg  
Lehrstuhl für Zoologie/Entwicklungsneurobiologie**

und

**Prof. Dr. Elsbeth Stern**

**ETH Zürich (Swiss Federal Institute of Technology)  
Institute for Behavioral Studies  
Research on Learning and Instruction**

**Düsseldorf 2007**

# **"Neurowissenschaftliche Aspekte der Erziehung, Bildung und Betreuung von Kleinkindern"**

**Prof. Dr. Anna Katharina Braun**  
Otto von Guericke Universität Magdeburg  
Lehrstuhl für Zoologie/Entwicklungsneurobiologie  
Brenneckestr. 6  
39118 Magdeburg  
Email: [katharina.braun@nat.uni-magdeburg.de](mailto:katharina.braun@nat.uni-magdeburg.de)

und

**Prof. Dr. Elsbeth Stern**  
ETH Zürich (Swiss Federal Institute of Technology)  
Institute for Behavioral Studies  
Research on Learning and Instruction  
Universitätsstrasse 6  
8092 Zurich/Switzerland  
Email: [stern@ifv.gess.ethz.ch](mailto:stern@ifv.gess.ethz.ch)

## **Inhaltsübersicht:**

Einleitung: Entwicklung und Lernen aus den Perspektiven von Psychologie und Neurowissenschaft

1. Das Gehirn als der Ort des Lernens
2. Entwicklung und Lernen
3. Assoziatives und verstehendes Lernen
4. Die Bedeutung von Emotionen für Lernprozesse
5. Wie funktioniert das Gedächtnis?
6. Wie können neurowissenschaftliche Erkenntnisse in pädagogische Konzepte einfließen?

Kapitel I: Kinder und Erwachsene: Zwei verschiedene geistige Welten?

1. Piagets Stufenmodell der kognitiven Entwicklung
2. Geistige Kompetenzen und Defizite im Säuglingsalter
  - 2.1 Physikalisches Grundwissen
  - 2.2 Mathematisches Grundwissen
  - 2.3 Räumliche Orientierung
3. Geistige Kompetenzen und Defizite beim Vorschulkind
  - 3.1 Theorie des Geistes
  - 3.2 Denken in Analogien
  - 3.3 Deduktives Schließen
  - 3.4 Das Verständnis von Invarianz
  - 3.5 Räumliche Orientierung
  - 3.6 Wissen von belebten und unbelebten Objekten
  - 3.7 Kausalität
  - 3.8 Mathematisches Grundwissen
4. Kinder als universelle Novizen: Die Bedeutung des Wissens für das Lernen
5. Kognitive und neuronale Voraussetzungen der Fähigkeit zur Selbstkontrolle
  - 5.1 Selbstkontrolle und symbolische Repräsentation bei Vorschulkindern
  - 5.2 Selbstkontrolle und kognitive Flexibilität
  - 5.3 Selbstkontrolle und der Erwerb der „theory of mind“

Kapitel II: Lernen als Aneignung von Kulturtechniken: Lesen, Schreiben und Rechnen

1. Lesen
  - 1.1 Voraussetzungen für das Lesenlernen
  - 1.2 Das Erkennen von Wörtern
  - 1.3 Individuelle Unterschiede beim Lesenlernen
  - 1.4 Das Verstehen von Texten
2. Schreiben
  - 2.1 Voraussetzungen für das Schreibenlernen
  - 2.2 Das Verfassen von Texten
3. Rechnen
  - 3.1 Arithmetik
  - 3.2 Individuelle Unterschiede beim Erwerb mathematischer Fähigkeiten

- 3.3 Kulturelle Unterschiede als Ergebnis der Lerngeschichte
- 3.4 Mathematische Frühförderung
- 4. Konzentrationsschwäche als Hemmnis beim Erwerb von Kulturtechniken
- 5. Interindividuelle Unterschiede in der Lernfähigkeit und ihre neuronalen Grundlagen
  - 5.1 Intelligenz und neurale Effizienz
  - 5.2 Lernen und neurale Effizienz
  - 5.3 Neurostrukturelle Korrelate der Intelligenz
- 6. Sinnvolle Frühförderung durch das Üben von Vorläuferfähigkeiten

### Kapitel III: Die Sprachentwicklung im Kindesalter

- 1. Voraussetzungen der Sprachentwicklung
  - 1.1 Die Bestandteile natürlicher Sprachen
  - 1.2 Äußere Voraussetzungen der Sprachentwicklung
- 2. Die Stadien der Sprachentwicklung
  - 2.1 Der Prozess des Spracherwerbs
  - 2.2 Vorbereitungen für das Sprechen
  - 2.3 Die ersten Wörter
  - 2.4 Das Zusammenstellen von Wörtern zu Sätzen
  - 2.5 Fähigkeiten zum Führen von Gesprächen
  - 2.6 Die sensible Phase für den Spracherwerb
  - 2.7 Zwei Sprachen sind besser als eine – unter bestimmten Bedingungen

### Literatur

## **Einleitung: Entwicklung und Lernen aus der Perspektive der Psychologie und der Neurowissenschaft**

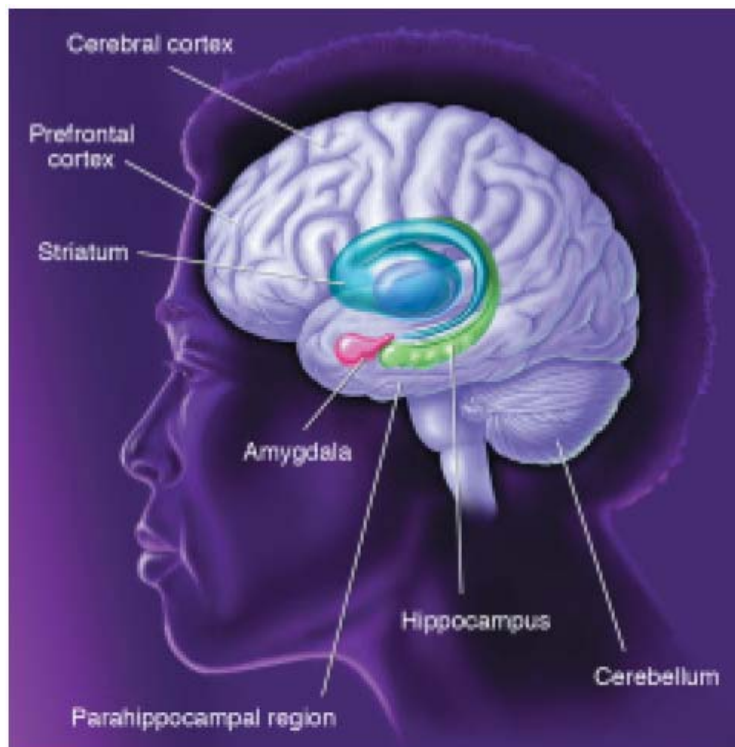
Vor PISA war in Deutschland die Auffassung weit verbreitet, dass man mit dem ernsthaften Lernen erst dann beginnen könne, wenn das Gehirn ausgereift sei. Entsprechend unterentwickelt waren auch unsere Lehrpläne für die Grundschule. Zum Glück haben sich nicht alle Grundschullehrer daran gehalten, aber die Kinder waren weithin unterfordert, ohne dass es dafür eine wissenschaftlich begründete Rechtfertigung gab. Nach PISA hieß es dann plötzlich, man könne gar nicht früh genug anfangen, weil Kinder angeblich effizienter lernen als Erwachsene. Beide Positionen sind wissenschaftlich nicht haltbar. Tatsächlich lernt der Mensch bereits im Mutterleib und hört erst mit dem Tode damit auf. Auch wenn es häufig behauptet wird, ist es falsch zu meinen, dass Kinder *generell* schneller und besser lernen als Erwachsene. Richtig ist aber, dass bereits Säuglinge und sehr junge Kinder schon sehr viel mehr lernen können, als man lange Zeit gedacht hat. Auch weiß jeder, der mit Kindern zu tun hat, wie unendlich neugierig sie auf die Welt sind. Diese Chance dürfen wir nicht ungenutzt lassen. Eine sinnvolle Frühförderung setzt aber Wissen über die geistige Entwicklung von Kindern voraus. Hierzu gibt es zwar seitens der Entwicklungspsychologie schon seit Jahrzehnten umfangreiche Erkenntnisse (wobei nicht wenige davon theoretischer Natur sind und dringend einer Verifizierung anhand von wissenschaftlich standardisierten und quantifizierbaren Untersuchungen bedürfen), im Bereich der neurobiologischen Forschung gab es hierzu jedoch erst in den letzten 10 bis 20 Jahren einen Erkenntniszuwachs, der aufgrund der technischen und ethischen Limitierungen überwiegend an Tiermodellen erhoben wurde. Tierexperimentelle Studien sind jedoch insofern völlig adäquate Modelle, als daß die Emotions- und Lernzentren (limbisches System) evolutionsgeschichtlich alte Gehirnsysteme sind, und daher bei Tier und Mensch vergleichbaren Funktionsprinzipien folgen. Dies zeigt sich z.B. auch daran, daß eine Fülle von Ergebnisse aus tierexperimentellen neurowissenschaftlichen Studien in den letzten Jahrzehnten maßgeblich in die Entwicklung zahlreicher neuer Therapiemethoden eingeflossen sind, u. a. im Bereich von entwicklungsbedingten Störungen wie Legasthenie, Sprachstörungen, und im Bereich von neurodegenerativen Erkrankungen wie Alzheimer oder Parkinson. Insbesondere auf zellulärer Ebene sind die molekulargenetischen Prozesse bei Tier und Mensch fast identisch, nicht umsonst wurde der Nobelpreis für die Erforschung von Lernmechanismen im Gehirn der Meeresschnecke *Aplysia* (Eric Kandel 2000) verliehen, und molekulargenetische Forschungen zu dopaminergen neuronalen Funktionsprinzipien am Fadenwurm *Caenorhabditis elegans* führen gerade auch in neuester Zeit zu ganz bahnbrechenden Erkenntnissen beispielsweise im Bereich der Parkinson-Forschung.

Bereits 1982 merkte Sharon Salver anlässlich einer amerikanischen Schulkonferenz zum Thema Grundschulziehung an, daß „die neuesten Erkenntnisse aus der Hirnforschung, insbesondere im Bereich der Gehirnentwicklung, den Erziehern innerhalb der nächsten fünf Jahre neue analytische Einblicke und Lösungsstrategien für eine grundlegende schulische Problematik aufzeigen wird, nämlich weshalb ein Schüler gut oder schlecht bzw. gar nicht lernt“. Bisher hat sich zwar in den USA im Bereich der interdisziplinären Lernforschung einiges getan, in Europa hingegen stehen wir hier jedoch leider noch

ganz am Anfang. Die hier vorgelegte Expertise zeigt daher auch Fragestellungen und wissenschaftliche Ansätze auf, die zu einer solchen interdisziplinären Forschungsrichtung anregen sollen, wobei eine adäquate Forschungsförderung in diesem Bereich sicherlich die essentielle Voraussetzung ist, wenn wir auf diesem Sektor schnellstmöglich nicht nur den wissenschaftlichen Anschluß, sondern möglichst eine Vorreiterrolle innerhalb Europas einnehmen wollen.

## 1. Das Gehirn als der Ort des Lernens

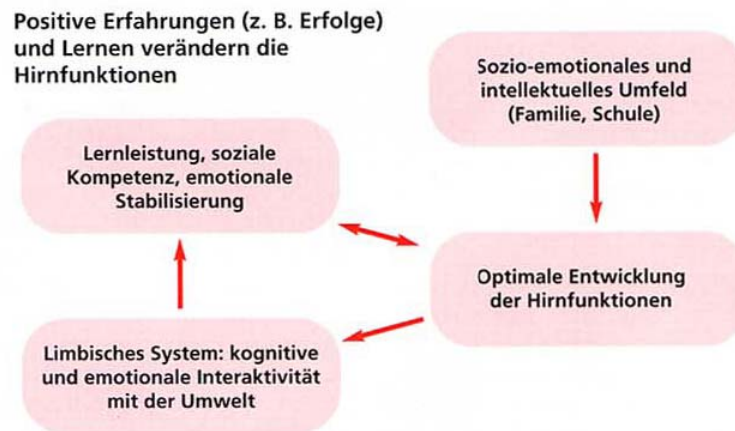
*Die funktionelle Reifung des Gehirns: Optimierung informationsverarbeitender neuronaler Lern- und Emotionssysteme*



**Vereinfachte Übersicht über die Strukturen des limbischen Systems und des präfrontalen Cortex** (Aus BrainFacts, Society for Neuroscience: <http://www.sfn.org/index.cfm?pagename=brainfacts>)

Lernen in der Kindheit und Jugend unterscheidet sich vom Lernen bei Erwachsenen darin, daß Erfahrungen und Lernprozesse dazu genutzt werden, die noch unreifen funktionellen Schaltkreise des Gehirns, insbesondere des limbischen „Belohnungs-“ Systems strukturell umzubauen, und dabei die informationsverarbeitenden neuronalen Netzwerke zu optimieren. Die sich hierbei reorganisierenden synaptischen Verschaltungsmuster konkurrieren dabei nach dem Prinzip „Use it or lose it“, d.h. das

Gehirn kann sich nur dann in seiner Leistungsfähigkeit optimieren, wenn ihm in früher Kindheit in ausreichendem Maße Leistung abgefordert wird. Salopp ausgedrückt könnte man diese Optimierung der informationsverarbeitenden Netzwerke im Gehirn mit der „Formatierung der Festplatte“ in der Computersprache vergleichen. Somit werden in der „Hardware“, oder besser gesagt der „Software“ – im Gehirn - schon relativ früh im Leben prinzipielle kognitive Konzepte für späteres Lernen etabliert, auf denen dann alle folgenden Lernprozesse aufbauen können. Angesichts der engen Kopplung zwischen Emotionalität und Kognition ist besonders bedeutsam, daß bei allen (d.h. nicht nur bei den schultypischen!) Lernvorgängen auch die emotionalen Systeme, vor allem das „Belohnungssystem“ (limbisches System) aktiviert werden („Erfolgs erlebnis“), wodurch in diesen neuronalen Schaltkreisen eine „emotionale Grammatik“ etabliert wird, durch die die Gefühlswelt des Individuums lebenslang bestimmt wird. Im Folgenden werden die aktuellen neurobiologischen Erkenntnisse zu diesen erfahrungsgesteuerten Optimierungsprozessen im Gehirn dargestellt.



Bei der Geburt ist das Gehirn nahezu mit der vollständigen Anzahl von Nervenzellen 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, wobei es hier jedoch noch ziemlich unklar ist, ob und in welcher Form sie dann sinnvoll in die bereits vorhandenen Schaltkreise integriert werden. Interessanterweise wurde in tierexperimentellen Studien gezeigt, daß die Neubildung von Nervenzellen angeregt oder unterdrückt werden kann durch Umwelteinflüsse und Lernprozesse. Positive Erfahrungen und Lernen können im kindlichen und auch noch im erwachsenen Gehirn wie ein „Jungbrunnen“ wirken, und damit vermutlich seine Leistungsfähigkeit steigern, während beispielsweise Stress in kindlichen Gehirn die Neubildung von neuen Nervenzellen unterdrücken kann. Negative, traumatische Erlebnisse (z.B. im Elternhaus, oder auch in der Schule) werden ebenso stabil, teilweise sogar noch stabiler im Gedächtnis abgespeichert, diese Erinnerungen können mit „funktionellen“ oder, wie es Rene Spitz formulierte, „psychischen“ Narben des Gehirns verglichen werden, die das Gehirn lebenslang vulnerabel gegenüber negativen Erlebnissen macht.

Viele Gehirnsysteme sind bei der Geburt zwar funktionsfähig, müssen dann aber nach der Geburt noch in ihrer Leistungsfähigkeit optimiert werden. Die Optimierung der informationsverarbeitenden neuronalen Netzwerke geschieht jedoch weniger durch Neubildung von Nervenzellen, sondern über eine Reorganisation ihrer synaptischen Netzwerke, d.h. der Strukturen mit denen die Nervenzellen Informationen weiterleiten bzw. untereinander austauschen und analysieren. Die Gehirnzentren, die überlebenswichtige automatische Funktionen wie das Atmen oder den Herzschlag steuern, haben bereits bei der Geburt ihre volle Leistungsfähigkeit erreicht, und durchlaufen keine nennenswerten umweltinduzierten neuronalen Optimierungsprozesse. Dagegen müssen die Sinnessysteme (z.B. Sehen, Hören, Tasten etc), die motorischen Zentren (Bewegungssteuerung) und vor allem die Gehirnsysteme, mit denen wir unsere Emotionalität und höhere assoziative Leistungen vollbringen (limbisches System, präfrontaler Cortex), noch in ihrer Funktion perfektioniert werden. Die verschiedenen funktionellen Hirnsysteme entwickeln sich jedoch nicht alle gleichzeitig, und auch nicht mit der selben 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 und Gedächtnisinhalte abspeichern bzw. wieder abrufen, 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 Kindes 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 Lern- und Denkkonzepte sowie Verhaltensstrategien entwickeln können. Ein Beduinenkind, welches in der Negev-Wüste aufwächst, wird sicherlich andere Nervennetzwerke im Gehirn entwickeln und andere Verhaltensweisen und Fertigkeiten erlernen, als ein Kind, welches in einer Großstadt aufwächst. Der **Nachteil** dieser ausgeprägten Veränderbarkeit des kindlichen Gehirns liegt wiederum darin, daß sich das Gehirn ebenso 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. Aus neurobiologischer Sicht ist mittlerweile unbestritten, daß jede Erziehung, sei es im Elternhaus, sei es in den staatlichen Einrichtungen, dauerhafte organische, d.h. strukturelle Veränderungen im kindlichen Gehirn auslösen und manifestieren kann. Bildung kann sich – wie in dieser Expertise weiter im Detail ausgeführt werden wird – ganz massiv in die Gehirnentwicklung „einmischen“.

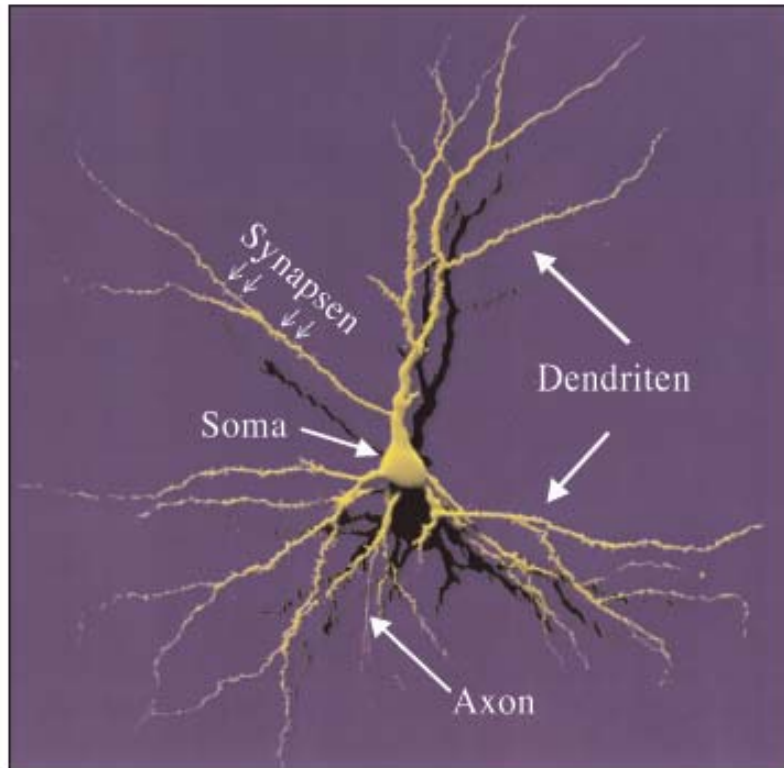
Eine der nach wie vor noch nicht vollständig geklärten Fragen der Neurowissenschaften ist, wann und vor allem über welche zellulären Mechanismen werden die neuronalen



Netzwerke aufgebaut und im Rahmen ihrer funktionellen Reifung umstrukturiert und optimiert? Es gibt Hinweise darauf, daß sich viele Schaltkreise des Gehirns, vor allem die bereits genannten Sinnessysteme, aber auch die vor allem für uns Menschen so bedeutsamen Sprachregionen, innerhalb der ersten 4 bis 6 Lebensjahre optimieren. Dies impliziert, daß aus neurobiologischer Sicht der vorschulischen Bildung eine viel größere Bedeutung zukommt als dies bisher wahrgenommen wurde. 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 (Myelinisierung s.u.). 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 und vielleicht auch von etwas anderer Art 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 (z.B. in der Kindheit) mehr oder weniger optimierten synaptischen Netzwerke zugreifen, und auf bereits erworbenes Wissen (Gedächtnisinhalte) aufbauen kann.

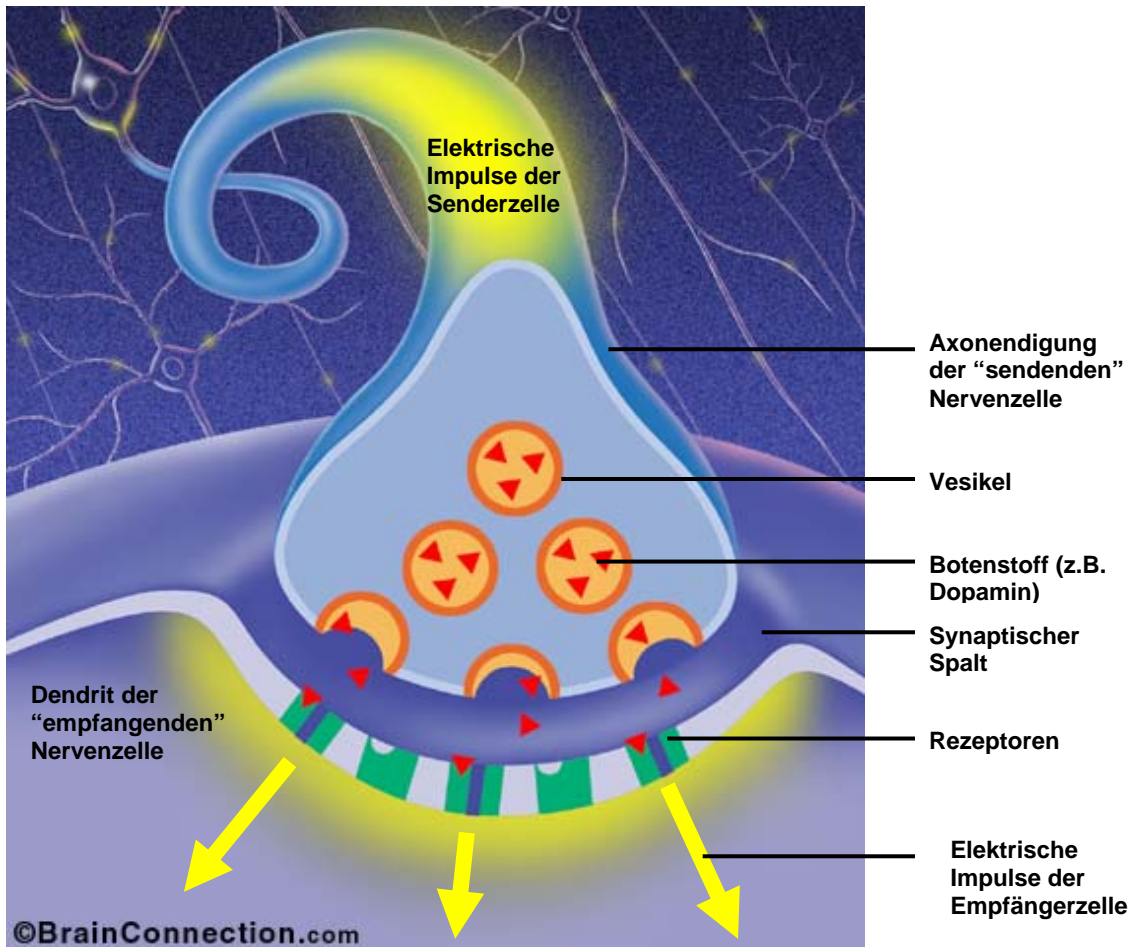
### ***Geistesblitze und Drogen: Mechanismen der Informationsverarbeitung im Gehirn***

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? Dazu zeigen gerade die neueren hirnbioologischen Erkenntnisse zu den neurochemischen Prozessen, die bei Lernvorgängen eine Rolle spielen, daß die emotionalen Vorgänge eine ganze essentielle Rolle beim Lernen und vor allem auch bei der Gedächtnisabspeicherung bzw. dem –abruf spielen.



**Dreidimensional rekonstruierte Nervenzelle (Aufnahme mit einem Laserscanmikroskop):**

**Soma** = Zellkörper, in dem der Zellkern mit der genetischen Information sitzt. **Dendriten** = Ausläufer der Nervenzelle, auf denen die Informationen anderer Nervenzellen, vermittelt über die chemischen Signale (Ausschüttung von (Neuro-)Transmitter = chemischer Botenstoff) der **Synapsen** (= Struktur des Neurons, an der Informationen zwischen Nervenzellen ausgetauscht werden), eintreffen. Das chemische Signal wird an der Synapse in ein elektrisches Signal umgewandelt, welches dann in den Zellkörper weitergeleitet wird. Vom Soma aus läuft das elektrische Signal dann in das **Axon** = Ausläufer der Nervenzelle, welcher in einer oder mehreren Synapse(n) endet, an dem das elektrische Signal dann wieder in ein chemisches Signal (s. o.) umgewandelt und den Dendriten anderer Nervenzellen „mitgeteilt“ wird

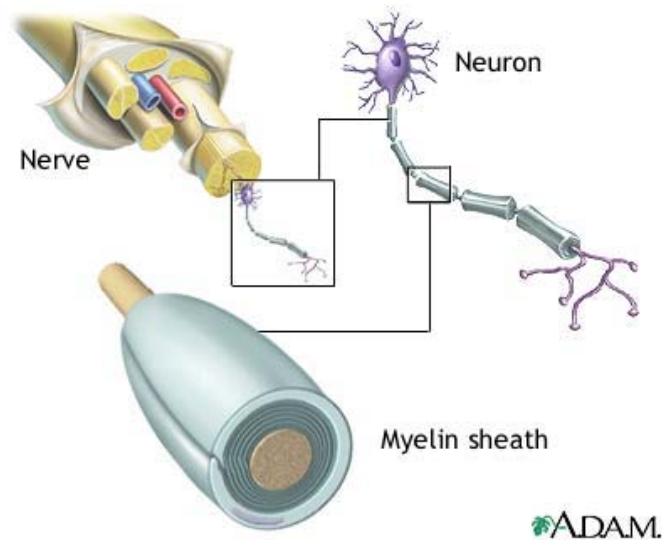


### Vereinfachte Darstellung des Funktionsprinzips einer informationsübertragenden Synapse

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 der Senderzelle 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 Schlüssellock 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 und der Abspeicherung von Gedächtnisinhalten in das Langzeitgedächtnis, 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 Pubertät) herrscht hier ein knallharter Konkurrenzkampf der Synapsen. Nach darwinistischen Prinzipien werden überzählige, redundante oder wenig genutzte 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.

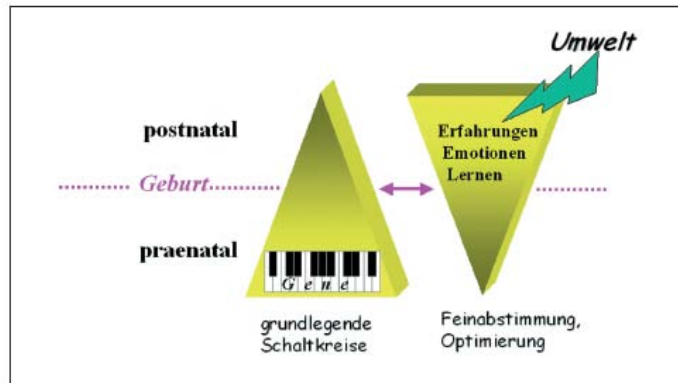


### Myelinisierung von Axonen.

Quelle: <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/ency/imagepages/9682.htm>

Eine weitere wichtige Veränderung im Gehirn findet mit der **Myelinisierung**, d.h. die Ausbildung der axonalen Markscheiden, statt. Myelin ist eine fetthaltige Substanz die von der zweiten Zellsorte im Gehirn, den Gliazellen, gebildet wird, mit der die Axone, d.h. die Fortsätze der Nervenzellen, die die elektrischen Impulse weiterleiten, umhüllt werden. Myelinisierte Faserbündel werden auch als „weiße Substanz“ des Gehirns bezeichnet (weil sie im ungefärbten Präparat durch Lichtreflexion der fetthaltigen Markscheiden makroskopisch weiß erscheint), im Gegensatz zur „grauen Substanz“, die von den Nerven- und Gliazellen (Zellkörper und ihre Dendriten) gebildet wird. Dem Myelin im Gehirn kommt eine große Bedeutung zu, es entspricht, vereinfacht ausgedrückt der Isolierung eines Stromkabels. Der „Trick“ bei der Myelinisierung ist jedoch nicht die Isolierfunktion, sondern im Gegenteil, diese Isolierschicht ist in regelmäßigen Abständen unterbrochen an den sogenannten *Ranvierschen Schnürringen*. Diese „Lecks“ in der Isolierung haben für die Reizweiterleitung den Vorteil, daß die elektrischen Signale nicht die gesamte Strecke des Axons entlang wandern müssen, sondern sie können die myelin-isolierten Abschnitte des Axons quasi überspringen. Bei dieser *saltatorischen Reizweiterleitung* springt der Strom also von Schnürring zu Schnürring (den nicht isolierten Stellen des „Kabels) und wird durch solche „Känguruh-Sprünge“ ganz erheblich schneller. In einem gut myelinisierten Gehirn läuft die für das Lernen wichtige Reizweiterleitung zwischen den Nervenzellen demnach sehr viel schneller und effizienter ab als in einem weniger gut myelinisierten Gehirn. Dies wird auch am Beispiel der Multiplen Sklerose deutlich, einer Erkrankung bei der das Myelin sukzessive degeneriert, und bei der es im Krankheitsverlauf zu mehr oder weniger massiven kognitiven, sensorischen und motorischen Defiziten kommt.

**Ein alter, aber mittlerweile nicht mehr aktueller Disput: 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 Spielraum innerhalb dessen sich das Gehirn entwickeln kann (symbolisiert in der Abbildung als Klaviatur). Die genetischen Programme sorgen vorgeburtlich zunächst dafür, daß grobe Schaltpläne im Gehirn etabliert werden, und sie bestimmen die prinzipiellen Antwort- und Übertragungseigenschaften der Nervenzellen. Die hierbei entstehenden synaptischen Netzwerke werden, wie bereits ausgeführt, dann über Umwelteinflüsse, d.h. Erfahrungen und Lernprozesse (die „Pianisten“ auf diesem Klavier) 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 noch sehr eingeschränkten, auf den Foetus einwirkenden 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 abzuf puffern.

Nach der Geburt werden dann alle über unsere Sinnesorgane wahrgenommenen Informationen aus der Umwelt über diese 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. Um auf den Vergleich mit dem Klavier und seinem Pianisten zurückzukommen, kann 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.

### ***Zeitfenster der Gehirn- und Verhaltensentwicklung***

Während Kinder ganz spezielle Dinge in den ersten Lebensjahren sehr schnell lernen, weisen sie in anderen Bereichen noch große Defizite auf. Sie freuen sich die ganze Woche auf den Schwimmunterricht, würden aber dann doch ihr Schwimmzeug vergessen, wenn man sie nicht daran erinnert. Sie laden sich den Teller voll und merken erst dann, dass sie keinen Hunger haben. Sie fahren zwar Fahrrad, sind aber in den ersten Jahren von der Komplexität des Großstadtverkehrs völlig überfordert. Solche typisch kindlichen Defizite lassen sich zumindest teilweise damit erklären, dass der so genannte Frontalhirnbereich (Frontallappen) noch unterentwickelt ist. In diesem Bereich werden noch viele Verbindungen geknüpft und aufgelöst, und die Myelinisierung vollzieht sich im Frontalhirn langsamer als in anderen Gehirnteilen. Im Präfrontalcortex werden aktuelle Informationen verarbeitet, indem Neues mit bereits Vorliegendem verknüpft wird. Die wichtigste Funktion der präfrontalen Regionen ist ihre inhibitorische Wirkung auf nachgeschaltete Hirnareale, z.B. der für Furcht- und Angstverhalten relevanten Amygdala, und dem z.B. bei Suchtverhalten (aber auch beim Lernen!) beteiligte Nucleus Accumbens. D.h. der präfrontale Cortex kann bildhaft mit einem Kutscher verglichen werden, der seine Pferde (d.h. andere Hirnareale wie Amygdala, Nucleus Accumbens, Hippocampus etc) lenkt, und die Zügel fest annimmt, um sie am unkoordinierten „Davongaloppieren“ zu hindern. ***Präfrontale Regionen sind demnach essentiell für die exekutive Kontrolle von Verhaltensweisen.*** Sie sind z.B. beteiligt an der Entscheidung, ein bestimmtes Verhalten aufzugeben, weil es nicht zum Ziel führt, oder an der Entscheidung, einer kurzfristigen Verlockung zu widerstehen, weil sie langfristigen Zielen entgegensteht. Andere Bereiche im frontalen Cortex, z.B. der Orbitofrontalcortex, sind bei der Steuerung und Regulation von impulsivem



Verhalten und z.B. auch bei der Auslösung und Unterdrückung von Aggression beteiligt. Viele der typisch kindlichen Eigenheiten sind also mit noch nicht ausgereiften präfrontalen cortikalen Funktionen zu erklären.

Das noch nicht voll entwickelte Frontalhirn und seine Verschaltungen mit anderen lernrelevanten limbischen Zentren (v.a. Nucleus accumbens, Amygdala und Hippocampus) bei Kindern hält diese jedoch keineswegs vom Lernen ab. ***Vielmehr ist es von größter Bedeutung, Erziehern bewußt zu machen, daß die vom Schüler gezeigte „Performance“, d.h. der sichtbarer und meßbarer Lernerfolg, der letztendlich ja auch in Form von Schulzeugnissen bewertet wird, mitnichten den tatsächlichen Lernerfolg oder -misserfolg widerspiegeln muß!*** D.h. wenn ein Kind scheinbar das Lernziel nicht erreicht hat (weil es die Performance im Unterricht bzw. den Prüfungen nicht zeigt), kann es dennoch eine ganze Menge gelernt haben, es kann diese Wissensinhalte jedoch oft noch nicht sofort einsetzen, oder es baut die neuen Kenntnisse in anderem Zusammenhang, oder erst sehr viel später im Leben sinnvoll in eine neue Lernsituation bzw. in Verhaltens- oder Denkstrategien ein. Dieses Phänomen der „verspäteten Performance“ ist evolutionsgeschichtlich uralt, es wurde in einer Vielzahl von Tiermodellen wie z.B. bei Singvögeln (siehe unten) und Nagern nachgewiesen. In unseren eigenen, kürzlich veröffentlichten tierexperimentellen Studien an Ratten“kindern“ zu dieser Fragestellung konnten wir in systematischen Lerntests sehr eindrucksvoll nachweisen, daß eine frühe Überforderung beim Lernttraining trotzdem später zu einer verbesserten Lernleistung führt. Trainiert man Ratten“kinder“ auf eine für sie offenbar noch unlösbare Lernaufgabe, werden sie also damit „überfordert“, dann zeigen sie zunächst keinen sichtbaren Lernerfolg. Werden die selben Tiere dann, ohne weiteres Lernttraining in der Jugend, als Erwachsene nochmals mit der gleichen Lernaufgabe konfrontiert, dann zeigen sie deutlich bessere Lernleistungen als die Tiere, die als Erwachsene erstmals mit dieser Lernaufgabe konfrontiert wurden. D.h. die Tiere, die diese Aufgabe als „Kinder“ bereits, wenn auch ohne sichtbaren Erfolg, trainiert hatten, haben offenbar doch etwas dabei gelernt und im Gedächtnis behalten (und zwar über einen beachtlich langen Zeitraum!), was sie dann als Erwachsene nutzbringend für die Lösung einer Lernaufgabe anwenden konnten. Das gleiche Experiment an etwas älteren Jungtieren („Teenager“) zeigte, daß mit zunehmendem Alter dann immer mehr der trainierten Tiere die Aufgabe mit mehr oder weniger großem Erfolg lösen konnten. Diese Experimente an Ratten führte noch zu einer weiteren interessanten und von uns nicht erwarteten Beobachtung: Die Lernleistung als Kind oder Jugendlicher läßt keine wirklich zuverlässige Voraussage darüber zu, wie gut die Tiere dann später als Erwachsene abschneiden. D.h. scheinbar „Lernschwache“ können später als Erwachsene durchaus genau so gute Lernleistungen zeigen wie die „Musterschüler“. Die Übertragbarkeit tierexperimenteller Befunde auf den Menschen bzw. ihre Applikation für bildungspolitische Aspekte ist sicherlich schon aufgrund des sehr viel komplexeren Gehirns des Menschen nicht 100% gegeben, dennoch zeigt auch das Beispiel der „Früherziehung“ im Tiermodell, daß es sich neurobiologisch beim frühkindlichen Lernen um evolutionär alte und auch beim Menschen zum Tragen kommende Grundprinzipien handelt. Bei Mensch (und Tier) sind die bekanntesten Beispiele für eine verzögerte „Performance“ der Spracherwerb (bzw. der hirnbilologisch sehr gut untersuchte Prozeß des Gesangslernens bei Singvögeln, oder der Imitation der menschlichen Sprache bei Papageienvögeln und Beos), der sehr viel früher als das



motorische Üben von Sprachlauten beginnt. Die Voraussetzung für einen erfolgreichen Spracherwerb ist das korrekte Hören von Vokalen, Konsonanten und Silben. Diese auditorische Diskriminierungsfähigkeit und zunehmende Präzisierung und Spezialisierung findet beim Menschen in den ersten 6 -12 Lebensmonaten statt (vgl. auch Kapitel III). Dieser auditorische Lernprozeß ist eines der klassischen Beispiele von frühkindlichem Lernen oder „Prägungslernen“, und ist charakterisiert durch ein relativ gut definiertes und scharf begrenztes *Entwicklungszeitfenster*. Wie in Kapitel III im Detail ausgeführt wird, kommt jedes Kind mit der Fähigkeit zur Welt, sämtliche in der Welt vorkommenden Sprachlaute zu erkennen und diese akustisch zu unterscheiden. Diese Fähigkeit wird dann, lange bevor das Kind selbst zu sprechen beginnt, durch die sprachliche Stimulation durch die Eltern bzw. Bezugspersonen (die dazu intuitiv und für das kindliche Gehör durchaus sinnvoll eine prosodisch überfärbte, zeitlich gedehnte, in der Fachsprache als „motherese“ bezeichnete Sprechweise einsetzen) im Verlauf dieses Zeitfensters so „geprägt (bzw. die Netzwerke seines akustischen Systems spezialisieren und optimieren sich), daß der Säugling dann mit ca. 10 Monaten bevorzugt auf die Laute seiner Muttersprache reagiert, und seine universelle Fähigkeit, andere Sprachlaute erkennen zu können, verloren hat. Beispielsweise können alle japanische und chinesische Säuglinge in den ersten 6 Monaten das r vom l unterscheiden, da sie diese beiden Laute jedoch in ihrer Sprache während der sensiblen Phase nicht zu hören bekommen, verlieren sie allmählich dieses Unterscheidungsvermögen, und können diese Laute später beim Erlernen einer Fremdsprache akustisch nicht unterscheiden, und demzufolge dann auch sprachlich nicht imitieren. An Singvögeln und sprachimitierenden Vögeln wurde ebenfalls gezeigt, daß der Erwerb des Gesangs bzw. der Sprache maßgeblich von den Hörerfahrungen kurz nach der Geburt abhängt, d.h. lange bevor der Jungvogel die ersten Versuche macht, eigene Gesangsübungen zu äußern. Wird dieses kritische Zeitfenster verpaßt, entwickelt sich nur ein rudimentärer Gesang aus, bzw. die Tiere lernen später nicht mehr, die menschliche Sprache gut zu imitieren. Am Tiermodell konnten auch die neuronalen Korrelate für diese „Sprachstörungen“ aufgezeigt werden, die kritische Lernphase für den Erwerb eines perfekten Gesanges liegt darin, daß die synaptischen Verschaltungen in den Hörzentren über ein Pruning von Synapsen optimiert werden. Die sich später entwickelnden, den Hörzentren zugeschalteten „Sprach-, bzw. Gesangszentren werden dann während der „Brabbelphase“, d.h. der Phase in der der Jungvogel damit beginnt, über Feedback des eigenen Gehörs dann den Gesang einzustudieren, ebenfalls überwiegend durch synaptisches Pruning optimiert.

Es scheint sich also, auch belegt durch Befunde aus anderen tierexperimentellen Studien (z.B. der Sexualprägung), immer mehr herauszukristallisieren, daß sich das kindliche Gehirn beim Lernen eher eines selektiven Abbaus von Synapsen bedient, während Lernprozesse im erwachsenen Gehirn eher von einer (vergleichsweise zum unreifen Gehirn jedoch relativ geringen) Zunahme von synaptischen Verknüpfungen begleitet werden. Weiterführende tierexperimentelle Untersuchungen müssen jedoch noch weitere Evidenzen erbringen, inwieweit es sich hierbei tatsächlich um einen prinzipiellen hirnbioologischen Unterschied zwischen kindlichen und adulten Lernprozessen handelt.

## **Für die Gesellschaft ergibt sich aus den neurowissenschaftlichen Befunden zukünftig eine Vielfalt von neuen Erkenntnissen:**

**Erziehungswissenschaften:** Die Erziehung, die noch vor Eintritt in die staatlichen Bildungseinrichtungen (incl. Kindergarten, und diese weltweit gebräuchliche, sehr anschauliche und passende Bezeichnung ist in Deutschland leider unmodern geworden...) hat den massivsten Einfluß auf die Hirnentwicklung, und wird alle weiteren kognitiven und emotionalen Leistungen determinieren. Die genetische Disposition ist zwar unbestritten, aber es ist klar gezeigt, daß die Umwelt durch Aktivierung und Deaktivierung der Genmaschinerie die Optimierung neuronaler Netzwerke bewerkstelligt.

**Psychiatrie:** Die Konsequenz eines emotions- und bildungsarmen Elternhauses ist eine verkümmerte Entwicklung der synaptischen Schaltkreise, die zeitlebens für die emotional-sozialen Funktionen essentiell sind, dies betrifft insbesondere die limbischen und präfrontalen „Belohnungssysteme“ des Gehirns. Das Versäumnis, in früher Kindheit eine „emotionale Grammatik“ anzulegen, mündet unweigerlich in einer „emotionalen Verstummung“, die später zu psychischen Erkrankungen führen kann. Zukünftige Therapien werden dahingehend entwickelt werden müssen, daß sie auf neuronaler und synaptischer Ebene im erwachsenen, weitaus weniger plastischen Gehirn eine Korrektur, und damit eine dauerhafte Heilung des Organs Gehirn führen.

**Soziologie/Kriminologie:** Straftäter weisen zu einem hohen Prozentsatz Biographien mit negativen Familienverhältnissen auf. Die hirnbioologischen Konsequenzen dieser negativen frühkindlichen Erfahrungen (bis hin zur körperlichen Mißhandlung, Hirnverletzungen im Präfrontalbereich sind häufig) sind aller Wahrscheinlichkeit nach die Ursache für die spätere erhöhte Gewaltbereitschaft, retardierte intellektuellen Leistungen und Straffälligkeit. Diese Erkenntnis wird langfristig dazu beitragen, die Therapie von Straftätern gezielter zu gestalten und mithilfe von (leider nur makroskopischen) bildgebenden Verfahren zu verfolgen und zu präzisieren.

## **2. Entwicklung und Lernen**

Vieles lernen Kinder fast von selbst. Lächeln, Laufen, Greifen und Sprechen gehört dazu. Es reicht aus, wenn Kinder Vorbilder haben und durch die Rückmeldung von Seiten ihrer Mitmenschen Information darüber erhalten, ob ein Verhalten erwünscht ist oder nicht. Wie andere Lebewesen auch, sind Menschen mit vielen Anlagen ausgestattet, die ihnen die Anpassung an die Umwelt erleichtern. Für Menschen gilt – sofern keinen gravierenden Störungen vorliegen –, dass sie fast nichts vom Sprechen abhalten kann. Selbst wenn Kleinkinder übel misshandelt und vernachlässigt werden, beginnen sie zu sprechen. Aber natürlich hängt es von der Umgebung ab, *wie* ein Kind spricht. Wenn die Eltern eines Kindes die Sprache nur nutzen, um Befehle auszustoßen und Unlust auszudrücken, hat auch das Kind wenig Gelegenheit, die Vielfalt der sprachlichen Ausdrucksmöglichkeiten kennen zu lernen.

Andererseits es hängt auch ganz essentiell davon ab, daß sich im Verlauf der Gehirnentwicklung die lernrelevanten Hirnareale bereits vor den ersten Erfahrungs- und Lernprozessen schon soweit miteinander vernetzen, daß das hirnbio-logische „Substrat“ überhaupt bereit gestellt wird, welches dann über Üben, Training und aufeinander aufbauend Lernprozesse weiter präzisiert wird. Kommt es hierbei zu entwicklungsbedingten Verzögerungen (z.B. genetisch bedingt, Mangelernährung, Verletzungen, Viruserkrankungen etc) so muß dieses organische Defizit bei der Erziehung und schulischen Förderung selbstverständlich berücksichtigt werden. Es kann demnach, sowohl für pädagogische auch für experimentelle Bereiche durchaus sinnvoll sein, zwischen *Entwicklung* und *Lernen* zu unterscheiden, obwohl beides eng und oft untrennbar miteinander verbunden ist.

Von *Lernen* spricht man, wenn das, was ein Kind kann, auf bestimmte Ereignisse zurückführbar ist. Das kann sein:

- 1) Üben: Das Kind probiert so lange, aus dem Bett zu klettern, bis es einen sicheren Weg gefunden hat.
- 2) Nachahmung: Das Kind erlebt, mit welchen Worten die Mutter eine gute Freundin begrüßt, oder wie die große Schwester das Nachbarkind ärgert, und verhält sich genau so, wenn es die eigene Freundin empfängt oder einem anderen Kind aus der Nachbarschaft begegnet. Nachahmung spielt bei fast allen Lernprozessen eine Rolle und ist ein recht komplexer Prozess. Es handelt sich dabei keineswegs um bloßes Nachäffen, sondern um gezielte Übernahme von Verhalten. Der Lernende entscheidet, **wen** er nachahmt (Wahl des Modells) und **was** er nachahmt (Wahl des Verhaltens).
- 3) Durch gezielte Kontrolle von aussen, indem auf das Verhalten Konsequenzen folgen, entweder als Verstärkung oder als Bestrafung: Die Umgebung signalisiert recht deutlich, ob ein bestimmtes Verhalten erwünscht ist oder nicht. Verstärkung baut Verhalten auf. Verstärker können materielle Belohnungen oder soziale Reaktionen sein. In diesem Falle spricht man von positiver Verstärkung. Auch mit negativer Verstärkung lässt sich Verhalten aufbauen. Unter negativer Verstärkung versteht man den Entzug eines unangenehmen Reizes. Das Aufheben des Fernsehverbotes fällt darunter. Auch wenn man ein Kind so lange böse anschaut oder es ignoriert, bis es sein Zimmer aufgeräumt hat, fällt dies unter negative Verstärkung. Mit Bestrafung kann man unerwünschtes Verhalten abbauen. Unter Bestrafung fällt auch der Entzug einer angenehmen Sache.
- 4) Übernahme von Erklärungen: Ein sprachlich vermittelter Sachverhalt wird übernommen und bestimmt das weitere Verhalten. Man kann ein Kind, das sagt: „Ich habe geschlafen“, korrigieren, indem man sagt: „Wenn ich die Vergangenheitsform von schlafen bilde, dann sage ich nicht ‚geschlafen‘, sondern ‚geschlafen‘. Bei vielen Wörtern hängt man ein ‚t‘ an das Wort, wenn man Vergangenes beschreibt, aber es gibt auch eine Menge Ausnahmen. Das Wort ‚schlafen‘ gehört dazu.“ Erklärungen können auf sehr effiziente Weise Lernen auslösen, aber nur wenn sie zum richtigen Zeitpunkt kommen. Der richtige Zeitpunkt liegt vor, wenn beim Lernenden bereits Wissen verfügbar ist, an das man anknüpfen kann. Im genannten Beispiel könnte das bedeuten, dass das Kind bereits begriffliches Wissen über die Sprachstruktur erworben hat. Ist dies nicht

der Fall, sind solche Erklärungen vergebliche Liebesmüh. Sprache wird nur in Ausnahmefällen über Erklärungen gelernt.

Die in 1) bis 3) beschriebenen Lernprozesse sind von Anfang an beim Menschen angelegt, während Lernen durch Erklärungen an die Sprachkompetenz gebunden ist. Lernen durch Nachahmung oder durch Erklärung kann sich mit verzögerten Effekten zeigen. Das Kind kann das Nachbarskind erst ein Jahr später so behandeln, wie es seine große Schwester getan hat. Die Erklärung zur Bildung von Vergangenheitsformen wird vielleicht erst zwei Wochen später in einem Gespräch angewendet. Gemeinsam ist aber allen vier Formen des Lernens, dass es eine ganz bestimmte Lernumgebung gab, auf die sich das, was ein Kind kann oder tut, zurückführen lässt.

### **3. Assoziatives und verstehendes Lernen**

#### ***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.

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 an Emotionen gekoppelt, und die beteiligten Gehirnregionen, das limbische System, spielt sowohl beim Lernen als auch bei der emotionalen Verhaltenssteuerung eine herausragende Rolle. 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 relativ leicht emotional demotiviert werden, z.B. durch stupides „Pauken“ (nicht zu verwechseln mit gezieltem Wiederholen und

sinnvollem Üben!), ständige Misserfolge, destruktive oder inkonsequente Kritik, Strafen, Demütigung.

Lernprozesse können den Energieverbrauch des Gehirns ökonomischer gestalten. Untersuchungen mit funktioneller Kernspintomographie an erwachsenen Versuchspersonen haben gezeigt, dass nach dem Erlernen einer einfachen akustischen Unterscheidungsaufgabe im Hörcortex eine **geringere** Aktivität auftritt als zum Beginn des Trainings, als die noch unerfahrene Versuchsperson diese Aufgabe noch nicht perfekt beherrschte. Beim Abruf einer geübten und daher ganz „lässig“ bewältigten Aufgabe ist demnach in der beteiligten Hirnregion nur noch minimaler Energieverbrauch 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.

Was passiert auf der neuronalen Ebene beim Lernen? Neurobiologische Erkenntnisse über physikalisch-chemische Vorgänge an den Synapsen bestätigen, was der kanadische Psychologe Donald Hebb auf allgemeinem, aber sehr einprägsamem Niveau formuliert hat: „**Neurons that fire together, wire together.**“ Nervenzellen, die zum gleichen Zeitpunkt aktiviert wurden, stabilisieren ihre gemeinsamen Synapsen, indem sie sie strukturell vergrößern oder über sprouting (ein Vorgang bei dem eine bereits existierende Synapse eine oder mehrere „Tochtersynapsen“ bildet) zahlenmäßig vermehren. Damit einher gehen molekulare und physiologische Veränderungen der synaptischen Übertragungseigenschaften, die die Veränderungen ihrer Sensitivität auf die erlernten Reize beinhalten. Das Phänomen, das einer **synaptischen Sensitivierung bzw. Desensitivierung** zugrunde liegt, wird als **Langzeitpotenzierung** (long-term potentiation, LTP) bzw. **Langzeitdepression** (long-term depression, LTD) bezeichnet und dient seit vielen Jahren als zelluläres Lernmodell um insbesondere die Mechanismen der molekular-genetischen Mechanismen von Lernvorgängen zu erforschen. Auf dieser zellulären Ebene verwenden das tierische und menschliche Gehirn identische, evolutionsgeschichtlich alterprobt Mechanismen.

Das **Prinzip der synaptischen Langzeitpotenzierung** von Nervenzellen beinhaltet einerseits die Verknüpfung/Assoziation von einer bzw. mehreren Informationen, und es beinhaltet den Effekt des „Übens“. Experimentell kann dieser zelluläre Lerneffekt durch die elektrische Reizung eines, oder mehrerer synaptischer Eingänge (die zB. verschiedenen Informationen entsprechen, vgl. das weiter unten geschilderte Beispiel des Lernens bei der Ratte) ausgelöst werden. Hierzu genügt jedoch nicht eine einmalige Reizung, sondern die Aktivierung muß hochfrequent im Theta-Rhythmus (eine sinusförmige Erregungswelle mit 6 Perioden/sec, die im Übrigen auch typisch für das schlafende Gehirn ist!) erfolgen. Der Trick an diesem Mechanismus liegt nun darin, daß die Neurone im Verlauf dieses hochfrequenten Trainings ihre Reizschwelle herabsetzen, d.h. sie werden für den trainierten Reiz empfindlicher („Übungseffekt“). Während also zu Beginn des Trainings noch relativ hohe Reizstärken notwendig sind, sind nach erfolgter Langzeitpotenzierung dann sehr viel niedrigerer Stromstärken (Reizintensitäten) notwendig, um die selbe neuronale Antwort auszulösen. Diese neuronale Sensitivierung kann sehr schnell, im Millisekundenbereich ausgelöst werden, und hält, ohne weiterführendes Stimulationsstraining dann Stunden, Tage oder Wochen an. Dieses

neuronale Lernprinzip, welches im menschlichen Gehirn in exakt der selben Weise abläuft wie bei Ratten oder Mäusen, entspricht genau dem, was man auch bei den sich entwickelnden Verhaltensantworten im Rahmen von Tierdressuren beobachten kann: Zunächst müssen relativ deutliche und häufige Anweisungen oder Hilfen (Belohnung oder Strafe) gegeben werden, um dem Schüler die von ihm geforderte Verhaltensleistung klar zu machen, und mit zunehmender Übung genügen dann nur noch ein drohendes Anheben der Stimme (Strafe) oder ein lobendes Wort (Belohnung) um die gewünschte Verhaltensweise auszulösen, bzw. unerwünschte Reaktionen zu unterdrücken.

Die neuronale Langzeitpotenzierung zeigt auch noch ein weiteres, ganz **essentiell**es Lernprinzip des Gehirns im Zusammenhang mit der Assoziation Belohnung/Strafe –Verhaltensreaktion (z.B. das Erlernen des Einmaleins oder das Lösen einer Rechenaufgabe etc), nämlich die essentielle Bedeutung des **zeitlichen Aufeinandertreffens der Stimulation verschiedener, miteinander kommunizierender Neurone**, die die gewünschte Assoziation bilden sollen. Nur wenn die beteiligten Neurone nahezu zeitgleich aktiviert werden, können sie ihre synaptischen Kontakte im neuronalen Netzwerk so verändern (sensitivieren oder abschwächen), daß eine Gedächtnisspur für die gebildete Assoziation gelegt werden kann. Das Prinzip, daß eine Belohnung bzw. Strafe zeitlich sehr eng mit der Ausübung einer gewünschten oder unerwünschten Verhaltensreaktion gekoppelt sein muß, um das gewünschte Lernergebnis zu erzielen, ist in der tierexperimentellen Lernforschung auch auf Verhaltensebene seit langem bekannt (vgl., auch die nachfolgenden Ausführungen zum Unterschied zwischen klassischer und operanter Konditionierung). Nur wenn eine Belohnung oder Bestrafung unmittelbar vor/nach der richtigen/falschen Verhaltensantwort erfolgt, kann das Gehirn aufgrund seiner oben skizzierten neuronalen Funktionsprinzipien eine sinnvolle Assoziation knüpfen. Obwohl dieses Prinzip z.B. auch in der klassischen Tierdressur zu den klassischen Erkenntnissen zählt, erfolgt in unserem Schulsystem die Rückmeldung über den Lernerfolg, d.h. die „Belohnung“ bzw. „Bestrafung“ in Form der Schulzeugnisse, immer noch mit einer langen Verzögerung, d.h. am Ende eines Schuljahres. Natürlich ist der Mensch, und auch ein Grundschüler durchaus in der Lage, diese verspätete Rückmeldung über seine Leistung intellektuell zu verstehen, er kann jedoch **retrospektiv** seine gemachten Fehler nicht mehr korrigieren (d.h. auch nicht auf neuronaler Ebene), da unklar bleibt, zu welchem Zeitpunkt, an welcher Stelle und in welcher Form die Fehler gemacht wurden. Was bei dieser verspäteten Rückmeldung ebenfalls auf der Strecke bleibt, ist der **emotionale Effekt der Belohnung bzw. „Strafe“**, d.h. die neurochemischen Substanzen, die im Gehirn die „Geschmacksnote“ der emotionalen Rückmeldung vermitteln (u.a. Dopamin, Serotonin, Endorphin für positive Rückmeldung, bzw. Noradrenalin, Corticotrophin-ausschüttendes Hormon, Cortisol für negative Rückmeldung) korrelieren zeitlich wenig oder gar nicht mit dem Lernerlebnis. **Die neurochemischen Faktoren sind ganz essentiell in die synaptische Langzeitpotenzierung bzw. Langzeitdepression eingebaut, und zwar gewährleisten sie den Langzeiteffekt des Lernergebnisses, indem sie strukturelle Veränderungen an den lernenden Synapsen auslösen.** Die neurochemischen Faktoren sind von Geburt an essentiell an den eingangs geschilderten erfahrungs- und lerninduzierten synaptischen Reorganisationsprozessen im Zuge der Optimierung neuronaler Vernetzungen im limbischen System beteiligt. Nur wenn ein emotionales neurochemische Signal zeitgleich

mit dem kognitiven Signal (im Beispiel der Ratte wäre das der Ton als konditionierter kognitiver Stimulus und der Strafreiz der emotionale Stimulus) erfolgt, kann sich im Gehirn eine Veränderung der synaptischen Effizienz (LTP/LTD) oder langfristig strukturelle Veränderungen (Vermehrung bzw Pruning von Synapsen) vollziehen.

Diese Ausführungen sollen keinesfalls ein Veto gegen Schulzeugnisse als Leistungsbewertung darstellen, denn selbstverständlich kann eine Schüler auch eine verspätete kognitive und emotionale Leistungsbilanz in Form eines Schulzeugnisses in der Form interpretieren, daß er zukünftig seine Leistungen verbessert, dies erfolgt jedoch über ganz andere, indirektere und vermutlich auch weniger effiziente neuronale Mechanismen.

### ***Verschiedene Formen des Lernens***

Viele Formen des Lernens laufen bei Menschen und Tieren vergleichbar ab. Die evolutionsgeschichtlich ältesten, und gehirnbioologisch „einfachsten“, nicht-assoziativen Lernformen sind die **Habituierung** und die **Sensitivierung**. Beide Lernformen sind bereits im Säuglingsalter nachweisbar, und sie sind sie auch im späteren Leben z.B. auch für das schulische Lernen von großer Bedeutung. Bei der **Habituierung** handelt es sich um eine **Abnahme bzw. völliges Verschwinden einer Verhaltensantwort** nach Präsentation eines Reizes, also eine Art „Gewöhnungslernen“. Präsentiert man z.B. einem Hund einen unbekanntem Tonreiz, so wird er zunächst darauf reagieren (z.B. indem er seinen Kopf in die Richtung der Tonquelle wendet). Wiederholt man diesen Tonreiz mehrmals, ohne daß daraufhin eine Belohnung oder ein Strafreiz erfolgt, wird der Hund bald nicht mehr auf den Tonreiz reagieren. Dieser Lernprozeß, der nichts mit einer Ermüdung oder einer Adaptation der Sinnessysteme zu tun hat, ist langanhaltend, d.h. selbst nach Wochen oder Monaten wird das Tier nicht mehr auf diesen Reiz reagieren. Solche Habituierungslernprozesse (mit langanhaltendem Ergebnis!) kommen sehr häufig im täglichen Lebensbereich und vor allem auch in der Schule vor (man überlege sich selbst hierfür die passenden Beispiele ...), und werden meist selbst bzw. vom Erzieher gar nicht als Lernprozesse wahrgenommen.

Umgekehrt erfolgt bei der **Sensitivierung** ein **vermehrtes Auftreten einer Verhaltensantwort** bzw. eine **Erniedrigung der Reizschwelle**, mit der die Verhaltensantwort ausgelöst werden kann. Wird beispielsweise ein harmloser Reiz (beispielsweise eine leichte Berührung) mit einem Strafreiz gekoppelt, bzw. erfolgt der Strafreiz VOR dem harmlosen Reiz, so wird das Individuum nach kurzer Zeit auf den harmlosen Reiz sehr viel stärker reagieren. Auch die Sensitivierung ist ein Lernprozesse der sehr viel häufiger im täglichen Leben vorkommt als es uns bewußt wird, und kann „unterschwellig“ im Rahmen von pädagogischen Konzepten sinnvoll eingesetzt werden.

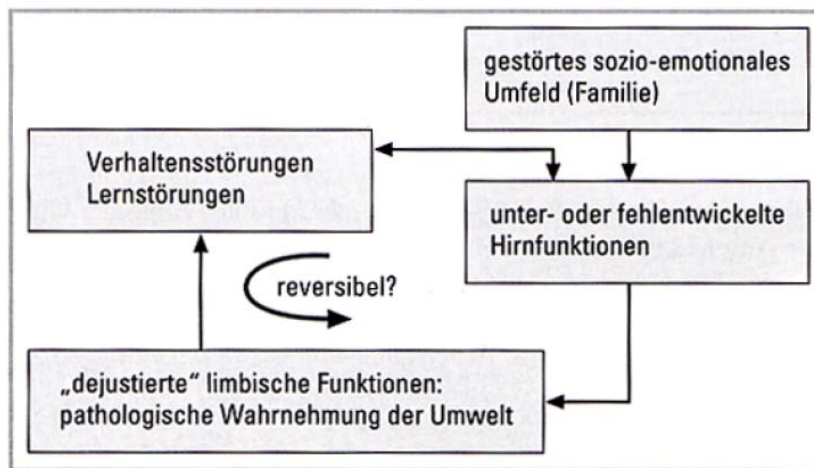
Zu den komplexeren, jedoch bereits bei allen höheren Wirbeltieren vorkommenden Lernformen gehören **Konditionierungsprozesse**. Konditionierungslernen besteht darin, dass Reize, die vorher unverbunden waren, durch **Assoziation** im Gedächtnis gekoppelt werden, und dass ein Verhalten, das positive Konsequenzen hat, mit erhöhter Wahrscheinlichkeit wiederholt wird. Man unterscheidet hier ganz generell zwischen **klassischer** und **operanter** Konditionierung, bei beiden wird ein ursprünglich neutraler

Reiz (z.B. eine Bewegung, ein akustischer, visueller oder olfaktorischer (=Geruchs-) Reiz) mit einer angenehmen (Belohnung) oder unangenehmen (Strafe) Situation assoziiert. Es gibt jedoch auch ganz fundamentale Unterschiede zwischen diesen beiden Konditionierungsformen. Bei der **klassischen Konditionierung** wird ein zunächst bedeutungsloser Reiz gepaart, bzw. erfolgt **vor** einem natürlicherweise eine Reaktion, Reflex oder Verhaltensweise auslösenden Reiz. Wiederholtes Training führt dann dazu, daß der ehemals verhaltensunwirksame Reiz diese Verhaltensweise auslöst. Diese Form des Lernens wurde vom russischen Wissenschaftler Ivan Pavlov (Nobelpreis 1904) erstmals charakterisiert, indem er den bei Hunden (und auch beim Menschen!) beim Anblick von Futter erfolgenden Speichelflußreflex mit einem akustischen Reiz (Glocke) paarte. Die Hunde lernten, den Glockenton mit dem Futter zu assoziieren, was daran erkennbar war, daß nach diesem Lerntraining der Speichelfluß bereits beim Erklingen des Tones, d.h. bereits vor bzw. auch ohne Futtergabe, ausgelöst werden konnte. Das **für die Lernforschung bedeutsame Lernergebnis** ist hier, daß das Tier/Schüler mithilfe des konditionierten Reizes (Glocke) lernt, eine **Voraussage über ein Ereignis** (Futter) zu treffen. Diese Lernform, findet auch beim Menschen tagtäglich in multipler Weise in Form von kurzen, meist gar nicht bewußt wahrgenommenen Episoden statt (sie lassen sich quasi gar nicht verhindern), und sie wird auch ganz massiv in der kommerziellen Werbung eingesetzt, womit ja durchaus ganz beachtliche (Lern-)Erfolge erzielt werden. Beispielsweise wird eine bestimmte Tonfolge nach kurzer Zeit mit einer bestimmten Telefongesellschaft assoziiert, berühmte Schauspieler sollen mit bestimmten Parfums oder Autos assoziiert werden, der Geruch von Glühwein, Zimt, der Anblick eines Weihnachtsbaumes und Kirchengeläut weckt auch im Hochsommer Assoziationen mit dem Weihnachtsfest, eine bestimmte Melodie wird sofort als „Hochzeitsmarsch“ identifiziert und mit dem entsprechende Ereignis assoziiert. Auch Angst wird auf diese Weise gelernt, wird ein Kind von einem Hund gebissen, wird es Zeitlebens wenn es Hundegebell hört, oder beim Anblick eines Hundes (bei Generalisierung des Reizes vielleicht sogar vor allen Pelztieren) Angst empfinden. Diese Form des Lernens, bei denen der Lernende in Bezug auf sein Verhalten eine eher **passive Rolle** einnimmt (erst der konditionierte Reiz löst die gewünschte Reaktion aus) birgt ein großes Potential bezüglich seiner Nutzung für das schulische Lernen im positiven Sinne, aber auch in Bezug auf therapeutische Maßnahmen z.B. bei Schulangst, Phobien etc.

Bei der **operanten (auch instrumentale oder prozedurale) Konditionierung** hingegen wird der Belohnungsreiz oder das Abstellen oder Vermeiden eines Strafreizes (welches durchaus einer Belohnung gleichgesetzt werden kann) **nach** einer spontan ausgeführten Reaktion, Bewegung oder Verhaltensweise gesetzt. Ein Tier wird eine Bewegung (z.B. Drücken einer Taste), die es unmittelbar vor dem Erhalt einer Futterbelohnung gezeigt hat, wiederholen, wenn es kurz danach (auch hier ist eine enge zeitliche Kopplung notwendig, vgl. das zur Langzeitpotenzierung Gesagte!) eine Futterbelohnung erhält (positive Verstärkung), d.h. es wird die Assoziation zwischen dieser Bewegung und der Belohnung bilden. Das Tier wird ebenfalls die Bewegung (Hebeldruck) wiederholen, wenn es damit eine unangenehme Situation (z.B. kalten Luftstoß) vermeiden kann (negative Verstärkung). D.h. sowohl eine Belohnung als auch ein Strafreiz führen hier zum selben Lernergebnis. Dies muß, auch hirnbilologisch gesehen, ganz klar unterschieden werden vom **Lernen durch Bestrafung**, wo ein Verhalten durch einen nachfolgenden Strafreiz



abtrainiert wird. Bei der operanten Konditionierung ist der Lernende im Gegensatz zur klassischen Konditionierung in einer **aktiven Rolle**, da die erwünschte Verhaltensreaktion dem Belohnungs- oder Strafreiz vorausgeht. **Der Lernende baut eine Erwartung bei der Ausführung dieser Verhaltensweise auf**, und wird entsprechend auch frustriert reagieren, wenn die erwartete Belohnung ausbleibt bzw. wenn stattdessen ein unerwarteter Strafreiz folgt. Bei wiederholtem Ausbleiben der Belohnung, oder insbesondere auch bei inkonsistenter, d.h. nicht voraussagbarer Belohnung oder Bestrafung wird die erlernte Assoziation allmählich wieder gelöscht bzw. überschrieben (Extinktion). Tiere, die man in Lernsituationen ständig mit inkonsistenten Belohnungs- oder Strafreizen konfrontiert, entwickeln dann mit der Zeit eine hohe Frustration, im englischen Sprachraum auch als „learned helplessness“ (erlernte Hilflosigkeit) bezeichnet. Diese antrainierte Demotivation läßt sich mit der „Null Bock“-Einstellung vieler Schüler vergleichen, und die hierbei erzeugte lust- und motivationslose Grundeinstellung von Lernverweigerern kann durchaus mit den klinischen Symptomen von depressiven Erkrankungen verglichen werden. **Die Lernverweigerung eines Schülers ist vermutlich hirnbilologisch nichts grundsätzlich anderes als die aus dem Gleichgewicht geratenen neurochemischen Prozesse, die im Gehirn eines depressiven Patienten die typische passive emotionale Grundstimmung erzeugen, nämlich daß er hilflos dem Leben ausgeliefert ist, und daß es nicht in seiner Macht steht, seine Lebensumstände aktiv zu verändern und zu optimieren.** Der sowohl auf dem depressiven Patienten als auch auf dem Schulversager lastende Leidensdruck muß in diesem Zusammenhang nicht explizit betont werden, nur fragt man sich dann, weshalb dem Patienten medizinische Hilfe zuteil wird, während der Lernverweigerer noch für sein „Leiden“ z.B. durch Sitzenbleiben, Überweisung in eine Schule für „Lernbehinderte“ (welch grausame Bezeichnung!) soziale Ausgrenzung etc. bestraft wird.



### Neurobiologische Hypothese zur Entstehung von Lern- und Verhaltensstörungen

Manches schulische Wissen kann durchaus einfach nur durch die Verstärkung von Assoziationen erworben werden, zum Beispiel das Einmaleins oder die Vokabeln einer Fremdsprache. Wenn die Aufgabe „7 x 3 =“ richtig mit „21“ beantwortet wird, gibt es eine Belohnung, falsche Antworten werden ignoriert. Auch einen Grundwortschatz

englischer Vokabeln kann man so erwerben. Wenn aber im Kopf des Lernenden nichts weiter geschieht, als dass von außen gesteuerte Assoziationen aufgebaut werden, dann wird nur weitgehend unbrauchbares Wissen erworben. Bei Schülern, die das kleine Einmaleins durch Verstärkung der richtigen Antwort auswendig gelernt haben, kommt die Antwort auf „4 x 8 =“ wie aus der Pistole geschossen, aber sie wissen nicht, dass man die Zahl nur verdoppeln muss, wenn man „4 x 16 =“ ausrechnen soll. Wenn man im Gedächtnis Assoziationen wie „Stuhl - chair, Tisch - table, Teppich - carpet“ gespeichert hat, dann bedeutet das nicht automatisch, dass man diese Vokabeln auch nutzt, um englische Sätze zu bilden.

Die besondere geistige Kompetenz der Menschen besteht aber gerade darin, nicht nur rein assoziativ zu lernen, das heißt nicht nur Verbindungen im Gedächtnis aufzubauen, die von außen gesteuert werden. ***Vielmehr liegt die Besonderheit menschlichen Lernens darin, Wissen aktiv und ohne äußeren Anstoß so umstrukturieren zu können, dass es auch zur Bewältigung neuer Anforderungen herangezogen werden kann.*** Genau dies zeichnet das ***verstehende Lernen*** aus. Wir Menschen können mehr, als uns konditionieren zu lassen. Wir können durch schlussfolgerndes Denken aus bestehendem Wissen neues Wissen erschließen. Wenn wir zum Beispiel noch nie den Begriff „Tapir“ gehört haben, uns aber gesagt wird, dass es sich dabei um ein in Mittel- und Südamerika sowie Südostasien lebendes Säugetier handelt, dann können wir die Frage „Legt ein Tapir Eier?“ aufgrund unseres Wissens über Säugetiere verneinen.

***Mit welchen speziellen Ressourcen ist das menschliche Gehirn im Gegensatz zu den Gehirnen anderer Lebewesen ausgestattet, um solche Kompetenzen zu ermöglichen?***

Die Neurowissenschaftler Gerhard Roth und Ursula Dicke haben eine systematische Analyse vorgenommen, in der sie der Frage nachgehen, in welchen Aspekten sich das menschliche Gehirn von den Gehirnen anderer Lebewesen unterscheidet. Welche neurophysiologischen Eigenschaften spiegeln die besondere menschliche Intelligenz und Lernfähigkeit wider? Weder beim absoluten Gewicht des Gehirns noch beim relativen, d.h. auf das Körpergewicht bezogenen Gewicht nimmt der Mensch eine Spitzenstellung ein, bei der absoluten Anzahl der Nervenzellen hingegen schon. Auch was die Leitungsgeschwindigkeit zwischen den Nervenzellen angeht, ist der Mensch anderen Spezies überlegen. Angesichts neuerer Forschungsergebnisse, wonach zahlreiche geistige Funktionen wie schlussfolgerndes Denken, Perspektivübernahme, Sensibilität für die Absichten anderer und sogar das Verfügen über eine syntaktisch strukturierte Sprache in rudimentären Grundzügen auch bei Tieren zu finden sind, kommen die Autoren zu dem Schluss, dass sich das menschliche Gehirn weniger in qualitativen als vielmehr in quantitativen Aspekten von den Gehirnen anderer Lebewesen unterscheidet. Das zeigt sich vor allem im Frontalhirn, das beim Menschen besonders ausgeprägt und erst nach der Pubertät voll ausgereift ist. Läsionen im Frontalhirnbereich gehen mit Funktionsstörungen einher, die sich in mangelnder Selbstkontrolle, mangelnder Flexibilität im Umgang mit Neuem sowie Planungsunfähigkeit zeigen. Das menschliche Gehirn hat offensichtlich nicht nur von allem etwas, sondern auch von allem etwas mehr, und dies ermöglicht unserer Spezies die enorme Lernfähigkeit und Flexibilität. Unser Gehirn ist nicht auf einen bestimmten, fest umgrenzten Input festgelegt, damit ein

Verhaltensprogramm aktiviert werden kann, sondern kann ein Verständnis dafür aufbauen, welche spezifischen Anforderungen in einer bestimmten Situation zu bewältigen sind, und ihr Verhalten darauf abstimmen.

Wenn wir Menschen uns mit anderen Lebewesen hinsichtlich unserer Lernfähigkeit vergleichen, schneiden wir also sehr gut ab. Dessen ungeachtet befassen wir uns vor allem mit dem Lernen, weil wir mit unserer Lernleistung unzufrieden sind: Warum ist es so mühsam, eine Fremdsprache zu lernen? Warum sitzen Schüler über Jahre im Physik- und Mathematikunterricht, ohne das Wesentliche verstanden zu haben? Warum lernen Kinder manches so viel einfacher als Erwachsene? Und wie lassen sich Lerngelegenheiten im Kindergarten oder in der Grundschule effizienter gestalten? Dieses Gutachten gibt einen Überblick über den aktuellen psychologischen und neurowissenschaftlichen Forschungsstand zur Entwicklung und zum Lernen von Kleinkindern. Die Zielsetzung besteht dabei darin, die Ergebnisse der beiden folgenden Erklärungsebenen zusammen zu führen:

- (1) Die psychologische Ebene: Welche Mechanismen der Informationsverarbeitung muss man annehmen, um das Zustandekommen von Lernerfolgen zu erklären?
- (2) Die neurowissenschaftliche Ebene: Wie werden Lernprozesse im Gehirn durch strukturelle (anatomische) und / oder funktionelle Veränderungen realisiert?

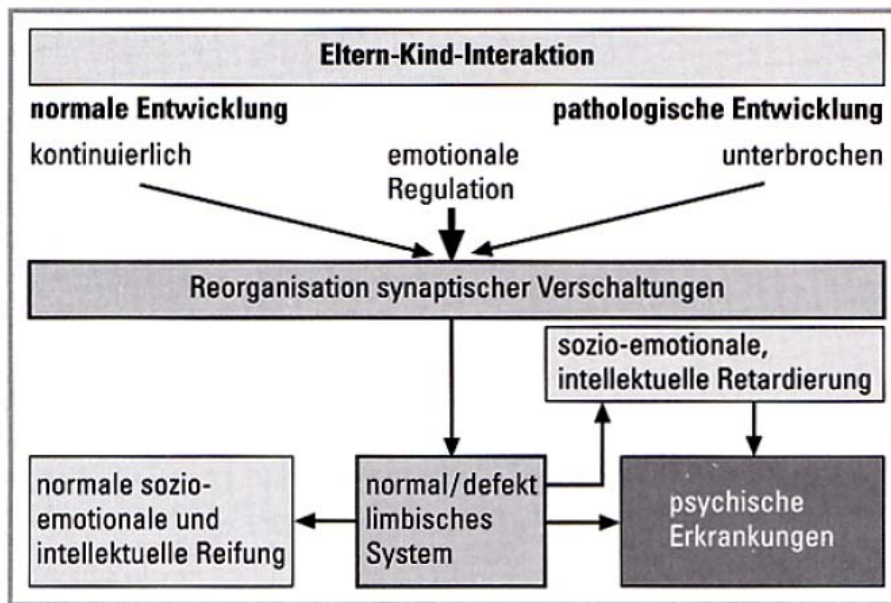
Können Kleinkinder zum Beispiel in einem bestimmten Entwicklungsabschnitt bestimmte Dinge noch nicht lernen, weil ihnen das erforderliche Vorwissen fehlt oder weil die beteiligten Hirnareale noch nicht entwickelt sind. Natürlich hängen beide Ebenen eng zusammen. Ohne die „Hardware“, also ein gut funktionierendes Gehirn, kann man keine „Software“ betreiben, also Wissen erwerben und nutzen. Aber natürlich ist eine funktionsfähige „Hardware“ allein noch keine Garantie für den Erwerb und die Nutzung von Wissen. Möchte man erklären, warum ein Kind eine bestimmte Kompetenz noch nicht beherrscht, muss der Frage nachgehen, ob es aufgrund noch nicht vollzogener Hirnreifungsprozesse das nötige Vorwissen noch nicht erwerben konnte, oder es zwar bereits die Voraussetzungen mitbringt, aber noch keine Gelegenheit zum Wissenserwerb hatte. Im ersten Falle wäre es noch nicht sinnvoll, Lernumgebungen anzubieten, im zweiten Falle schon.

#### **4. Die Bedeutung von Emotionen für höhere assoziative Lernprozesse**

Der oben dargestellte weitreichende 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, das über Pruning erfolgende „Ausjäten“ redundanter Synapsen wird verzögert oder unterbleibt völlig., so daß solche „sinnlosen“ Verschaltungen die Effizienz des Gehirns stören können. So wie sich ein untrainierter oder falsch trainierter Muskel nur schwächlich oder an einer falschen Stelle entwickelt, entsteht bei mangelnder Anregung ein Gehirn mit verminderter oder gestörter Leistungskapazität, was dann zu Lern- und Verhaltensstörungen führen kann.

Die klassischen älteren Untersuchungen, ebenso wie die neueren Adoptivstudien an Heimkindern weisen jedoch auf die prägende (gehirn- und verhaltensbiologisch) Bedeutung emotionaler Erfahrungen hin, die in engem Zusammenhang mit Lernprozessen stehen. Beobachtungen des Wiener Psychoanalytikers Rene Spitz (1965) an Heimkindern, und auch die in jüngster Zeit an Kindern aus rumänischen Waisenhäusern erhobenen Befunde zeigen ganz klar, welche verheerende und dauerhaft im Gehirn verankerte Wirkung ein Mangel an emotionaler Zuwendung auf die Entwicklung nicht nur emotionaler sondern auch kognitiver Fähigkeiten hat. Die Studien von Skeels (1966) 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.



### **Kritische Bedeutung einer stabilen emotionalen Bindung zwischen Kind und Bezugspersonen für die sozio-emotionale und kognitive Reifung**

D.h. nur durch einen kontinuierlichen Dialog mit stabilen, einfühlsamen Bezugspersonen in den ersten Lebensjahren wird gewährleistet, daß sich die limbischen emotionalen Schaltkreise (insbesondere der sich erst sehr spät entwickelnde Gyrus cinguli) optimieren können und damit eine stabile emotionale Selbstregulation und Empathiefähigkeit entstehen kann. Gerade in diesem Bereich zeigen sich in den letzten Jahrzehnten gravierende Defizite bei Kindern und Jugendlichen, die neben schulischen Problemen langfristig dann auch zu psychiatrischen Störungsbildern wie Sucht, Aggressivität, Angsterkrankungen einerseits, und delinquentem Verhalten andererseits führen können. Die von der Gesellschaft aufzubringenden enormen Folgekosten für Versäumnisse in der Früherziehung müssen sicherlich an diese Stelle nicht explizit erwähnt werden.

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 konnte im Rahmen einer Adoptionsstudie bei rumänischen Waisenkindern mithilfe von bildgebenden Verfahren ebenfalls eine chronische Unteraktivierung der präfrontalen kortikalen „Emotionsregionen“ nachweisen (2001), und die Arbeitsgruppe von Adrian Raine konnte im Gehirn von Mördern ebenfalls eine Unterfunktion in diesen emotional bedeutsamen präfrontalen Regionen nachweisen

(1994). Am Tiermodell wurden auf mikroskopischer Ebene auch langfristige strukturelle Veränderungen im Gehirn nach emotionaler Deprivation 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 dramatische 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.

Das ganz generelle und für die Früherziehung ungemein weitreichende Fazit, das man aus den derzeitigen wissenschaftlichen Erkenntnissen ziehen kann ist dramatisch: ***frühe emotionale Vernachlässigung führen zu einer verzögerten oder fehlgesteuerten funktionellen Reifung von Hirnarealen (z.B. präfrontalen Bereichen, Amygdala, Nucleus Accumbens), die nicht nur bei der Steuerung emotionaler Verhaltensweisen (Angst, Sucht, Belohnung) eine bedeutende Rolle spielen, sondern die darüber hinaus ganz essentiell für Lernleistungen sind.*** Hierdurch lassen sich einerseits die kognitiven Defizite von emotional vernachlässigten Kindern erklären, und auch die dann im Jugendalter überdurchschnittlich häufiger auftretende Suchtgefahr, Störungen der Impulskontrolle (sensation seeking oder „James Dean Syndrom“), mangelnde Aggressivitätskontrolle und Autoaggression.

Trotz dieser Erkenntnisse zur Bedeutung emotionaler Leistungen bei Lernprozessen ist auf der hirnbioologischen Ebene auch heute noch weitgehend unklar, welche Umweltfaktoren in welcher Weise bei der erfahrungsgesteuerten funktionellen Reifung des Gehirns, in welchen spezifischen Regionen des limbischen Systems wirksam werden. Die zellulären und molekularen Mechanismen, die hierbei eine Rolle spielen, können nur an geeigneten Tiermodellen systematisch untersucht werden. Dieser interdisziplinäre Forschungszweig wird daher – im Gegensatz zu den meisten europäischen Ländern und insbesondere Deutschland - in den USA seit Jahrzehnten in großem Umfang forciert und finanziell unterstützt. 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.

***Lernen und insbesondere die beim emotionalen Anteil des Lernprozesses beteiligten neurochemischen Prozesse beeinflussen die funktionelle Reifung des limbischen Systems***

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 strukturellen Veränderungen führt, die die spätere intellektuelle und emotionale Leistungsfähigkeit des Individuums nachhaltig beeinflussen.

***Welcher Zusammenhang besteht zwischen emotionalen Prozessen und der Informationsverarbeitung im Gehirn?*** 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 hirnbioologisch aufgeschlüsselt, um dieser Rastlosigkeit, insbesondere des noch ganz jungen, unerfahrenen Gehirns auf den Grund zu gehen. Im Tierexperiment an Nagern und Affen 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. Tierexperimentelle Untersuchungen zeigen, 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 wird. Unsere eigenen Lernexperimente an Ratten haben kürzlich an Ratten“kindern“ 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 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. ***Wichtig ist jedoch in diesem Zusammenhang auch, daß Lernen nicht notwendigerweise eine direkte Belohnung („Zuckerbrot“) von außen (z. B. durch den Lehrer) erfordert, sondern daß die Belohnung, die zu erfolgreichem Lernen führt (also das positive feedback wenn etwas richtig gemacht wird) intern im Gehirn ausgelöst werden kann und damit zu den allseits bekannten Glücksgefühl des „Erfolgslebnisses“ führt. Weiterhin essentiell für den Lernerfolg ist, daß auch Anstrengung und leichter Stress („Peitsche“), bei denen andere Botenstoffe und auch Stresshormone ausgeschüttet werden, ganz essentiell für den Lernerfolg sind.*** Vermutlich stellt also für das Gehirn eine moderate emotionale „Achterbahnfahrt“, also im Deutschen das Prinzip „Zuckerbrot und Peitsche“ bzw. im amerikanischen Sprachgebrauch auch das „Carrot and stick Prinzip“ im Verlauf eines Lernvorganges die optimale Voraussetzung dar.

***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.

## 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 blockieren (Andersen et al 2004). 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 Bewegungsabläufen 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. Wie können neurowissenschaftliche Erkenntnisse in pädagogische Konzepte einfließen?**

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 cortikalen 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 cortikalen 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 (für Nicht-Fans langweilige...) 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 Drohungen und ständiger Bestrafung* 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. Neuere Ergebnisse der Hirnforschung sowohl am Menschen als auch am Tiermodell haben nachgewiesen, daß die gehirngerechteste Lehrform dem *Prinzip „Zuckerbrot und Peitsche“* bzw. im angloamerikanischen Sprachraum auch als „carrot and stick“ Prinzip bezeichnet, folgt. Das heißt eine konsequente und individuell dosierte, für den Schüler nachvollziehbare, und vor allem auch für ihn voraussagbare Strategie von wohl ausbalanciertem Lob und Tadel wird der Arbeitsweise des Gehirns am besten gerecht. Ein Überhäufen mit überschwenglichem Lob, oder das Stellen von zu einfachen Lernaufgaben lassen das Interesse am Lernstoff und die Spannung beim Lösen einer Aufgabe schnell erlahmen, das Gehirn „langweilt“ sich damit auf Dauer, und wie die vielen Beispiele hochbegabter Schulversager zeigen, kann dies schließlich zur Lernbehinderung führen. Ebenso wirken sich die ständige Angst vor Kritik und Demütigung durch den Lehrer und Mitschüler, und endlose Serien von Misserfolgserebnissen 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 gehirnbioologische Regeln für das Lernen und die Gedächtnisfunktionen gibt, deren hirnbioologischen Mechanismen mitnichten schon alle im Detail erforscht 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.

## Kapitel I: Kinder und Erwachsene: Zwei verschiedene geistige Welten?

In der Tradition des einflussreichen Entwicklungspsychologen Jean Piaget (1896 - 1980) wurde angenommen, dass sich Kinder und Erwachsene in der Art ihres Denkens und Lernens grundlegend voneinander unterscheiden. Man ging davon aus, dass Säuglinge noch kein Gedächtnis haben, dass Vorschulkinder noch ganz unflexibel in ihrem Denken sind und dass Grundschulkindern noch nicht abstrakt denken können. Inzwischen wissen wir, dass bereits Säuglinge Ursache-Wirkung-Zusammenhänge erkennen können, dass Vorschulkinder in manchen Gebieten bereits zu beachtlichen Leistungen im Schlussfolgern fähig sind und dass Grundschulkindern über mehr geistige Kompetenzen verfügen, als ihnen in der Schule abverlangt werden.

In diesem Kapitel soll an zahlreichen Beispielen gezeigt werden, dass - entgegen den Annahmen von Piaget - Kinder und Erwachsene in vielen Fällen nach den gleichen Prinzipien lernen. Die Unterschiede zwischen Kindern und Erwachsenen hinsichtlich der Möglichkeit, über die Welt nachzudenken, Schlüsse zu ziehen und zu neuen Einsichten zu gelangen, können nicht durch unterschiedliche geistige Grundfähigkeiten, sondern nur durch **Unterschiede im bereichsspezifischen Wissen** erklärt werden. Aufgrund dieser Unterschiede können **Kinder als „universelle Novizen“** betrachtet werden. Das heißt, ihnen fehlt zunächst in nahezu allen Gebieten das erforderliche Wissen. Zu den entscheidenden Wissensdefiziten im Kindesalter gehören vor allem **Kenntnisse über den Umgang mit geistigen Werkzeugen** wie Sprache, Mathematik und Mitteln zur bildlichen Veranschaulichung.

*Es gibt also keine Belege für eine in allen Inhaltsbereichen gleich verlaufende kognitive Entwicklung in den von Piaget beschriebenen Stadien.* Allgemeine Konstrukte wie Abstraktionsfähigkeit, Konzentrationsfähigkeit und Flexibilität im Denken sind daher bei der Beschreibung und Erklärung von Lernfortschritten im Kindesalter wenig hilfreich. Man kann Lernen und Denken nicht ohne Bezug auf bereichsspezifische Inhalte und Anforderungen beschreiben und erklären. Aus diesem Grund lassen sich auch keine allgemeinen Aussagen über sinnvolle Frühförderungsmaßnahmen treffen. Vielmehr müssen diese Maßnahmen stets auf die verschiedenen Inhaltsbereiche abgestimmt werden. Um aber die Forschung zur geistigen Entwicklung im Kindesalter verstehen zu können, muss man die Arbeiten von Piaget kennen.

### 1. Piagets Stufenmodell der kognitiven Entwicklung

Eine zentrale These Piagets besteht darin, dass sich die kognitive Entwicklung im Kindesalter diskontinuierlich in verschiedenen Stadien **vom konkreten zum abstrakten Denken** vollzieht. Ein wichtiges Merkmal dieser Diskontinuität wäre demnach, dass zwischen dem Denken von Kindern verschiedener Altersgruppen **qualitative Unterschiede** bestehen. Piaget vertritt die Auffassung, dass stadien-typische Kompetenzen **bereichsübergreifend** sind und sich daher in allen Inhaltsgebieten nachweisen lassen.

Demnach zeichnet sich zum Beispiel das erste Entwicklungsstadium, das Piaget als **sensorimotorisches Stadium** (Geburt bis 2 Jahre) bezeichnet, dadurch aus, dass sich die kognitive Entwicklung von Kindern vor allem in den Fortschritten ihrer sensorischen und motorischen Fähigkeiten zeigt. Ihr Bewusstsein beschränkt sich nach Piaget in diesem Abschnitt noch vollständig auf die Gegenwart. Das heißt, es richtet sich ausschließlich

auf unmittelbar gegenwärtige Eindrücke und Handlungen. Dies zeigt sich Piaget zufolge unter anderem darin, dass für Kinder in dieser Entwicklungsstufe nur das existiert, was unmittelbar wahrgenommen wird. Demnach fehlt ihnen noch das **Konzept der Objektpermanenz**. Das heißt, sie wissen noch nicht, dass Gegenstände unabhängig von unserer aktuellen Wahrnehmung weiterexistieren.

Für das daran anschließende **präoperatorische Stadium** (2 bis 7 Jahre) ist laut Piaget charakteristisch, dass Kinder die Fähigkeit erwerben, ihre Eindrücke und Gedanken durch Sprache, geistige Vorstellungsbilder und symbolisches Denken abzubilden. Symbole können als Zeichen verstanden werden. Symbole zu verwenden bedeutet, zu wissen, dass eine Sache für eine andere Sache steht. Das Wort „Hund“ ist nicht der bellende Vierbeiner, sondern es *bezeichnet* ihn. Man könnte auch sagen, dass Zeichen oder Symbole (wozu die Sprache gehört) Inhalte repräsentieren. Diese Kompetenz zum **Umgang mit Zeichensystemsystemen (oder Repräsentationssystemen)** ermöglicht es Kindern, ihre Erfahrungen über längere Zeiträume im Gedächtnis zu speichern und mithilfe von Symbolsystemen differenziertere Konzepte zu entwickeln. Allerdings orientieren sich Kinder in dieser Entwicklungsstufe nach Piaget noch vorwiegend an beobachtbaren Tatsachen und sind auch noch nicht in der Lage, reversible Operationen zu durchdenken und auszuführen (**fehlendes Verständnis der Reversibilität von Prozessen**). Dies zeigt sich Piaget zufolge beispielsweise darin, dass sie noch nicht über das **Konzept der Erhaltung von Mengen** verfügen, also noch nicht verstehen, dass eine Veränderung der Anordnung von Objekten keinen Einfluss auf ihre Menge bzw. Anzahl hat. Aus diesem Grund bereitet es Kindern in diesem Entwicklungsabschnitt Schwierigkeiten einzuschätzen, ob sich zum Beispiel die Mengen von Flüssigkeiten ändern, wenn man sie in Gefäße mit unterschiedlichen Formen umfüllt. Wären die Kinder bereits in der Lage, diese Umfüllvorgänge im Geist wieder rückgängig zu machen, dann würden sie auch zu der korrekten Lösung gelangen, dass das Umfüllen keinerlei Einfluss auf die Flüssigkeitsmenge hat.

Durch zahlreiche Untersuchungen konnte allerdings in den beiden letzten Jahrzehnten gezeigt werden, dass Piagets Theorie in vielen wichtigen Punkten nicht länger haltbar ist. **Die kognitive Entwicklung vollzieht sich nicht in den dargestellten Stadien vom konkreten Handeln zum abstrakten Denken. Die Annahme einer bereichsübergreifenden Abstraktionsfähigkeit als Determinante der kognitiven Entwicklung kann nicht aufrechterhalten werden, weil Kinder, die über ein entsprechendes bereichsspezifisches Wissen verfügen, bereits Denk- und Inferenzleistungen (Inferenz = Schlussfolgerung) erbringen können, zu denen sie nach Piaget noch gar nicht in der Lage sein dürften. Es ist also nicht der Fall, dass sie in allen Inhaltsbereichen die gleichen Kompetenzen zeigen.** Um dies zu veranschaulichen, wird im Folgenden eine Reihe von Experimenten dargestellt, die belegen, dass sich bei Säuglingen und Vorschulkindern bereits Kompetenzen finden, über die sie laut Piaget eigentlich noch nicht verfügen. Daraus folgt erstens, dass das von Piaget vertretene Stufenmodell die geistige Entwicklung im Kindesalter in wesentlichen Punkten nicht zutreffend beschreibt. Und da diese Untersuchungen außerdem belegen, dass es keine bereichsübergreifenden, stadien-typischen Kompetenzen, sondern nur bereichsspezifische Fähigkeiten gibt, die wesentlich vom Wissen in den betreffenden Inhaltsbereichen abhängen, ergibt sich zweitens die Konsequenz, dass die geistige

Entwicklung im Kindesalter ganz generell durch Stufenmodelle nicht angemessen beschrieben werden kann.

## **2. Geistige Kompetenzen und Defizite im Säuglingsalter**

### **2.1 Physikalisches Grundwissen**

Eine ganze Reihe von Untersuchungen hat in den letzten Jahren gezeigt, dass bereits wenige Wochen alte Säuglinge über umfangreiches Wissen in Bezug auf die Eigenschaften von Gegenständen und auf Vorgänge in der physikalischen Wirklichkeit verfügen, das nicht aus ihrer Handlungserfahrung entstanden sein kann, sondern angeboren sein muss. Menschen sind nicht nur genetisch durch spezielle Lernmechanismen auf das Lernen von Sprache vorbereitet, wie Noam Chomsky mit seinen bahnbrechenden Arbeiten zur Sprachentwicklung gezeigt hat, sondern auch auf die Verarbeitung von Information aus ihrer belebten und unbelebten Umgebung. Kinder verfügen bereits im sensomotorischen Stadium über ein angeborenes Verständnis physikalischer Grundbegriffe. Neben dem Wissen um den Unterschied zwischen lebendigen Wesen und unbelebten Objekten zählt dazu das Konzept, dass sich unbelebte Objekte nur bewegen können, wenn von außen eine Kraft auf sie einwirkt, sowie das Konzept, dass sich Lebewesen von selber bewegen können. Insbesondere Elisabeth Spelke konnte in mehreren Untersuchungen zeigen, dass bereits Säuglinge über viele physikalische Grundbegriffe verfügen und dass aus diesem Grund Piagets These, Kinder würden im sensomotorischen Stadium das Konzept der Objektpermanenz noch nicht besitzen, revidiert werden muss. Um dies zu veranschaulichen, werden im Folgenden einige klassische Experimente vorgestellt.

Vielen dieser Experimente ist gemeinsam, dass sie nach der folgenden Methode vorgehen: Im sogenannten Habituationsparadigma werden Säuglinge zunächst für einen längeren Zeitraum mit einem für sie interessanten Ereignis konfrontiert, etwa mit einem rollenden Ball. Die Dauer, mit der die Kinder das Ereignis anschauen, wird als Indikator für ihr Interesse herangezogen. Nachdem das Kind durch kurze Blickdauer signalisiert hat, dass es nicht länger an dem Ball interessiert ist, stellt der Versuchsleiter in der Experimentalgruppe unter Anwendung eines Tricks ein physikalisch unmögliches Ereignis her. Im Beispiel in der obigen Abbildung wird der Eindruck vermittelt, als hätte der Ball eine feste Wand durchdrungen, während in der Kontrollgruppe der Ball über die Wand gehoben wird. Wenn die Kinder der Experimentalgruppe das neue Ereignis deutlich länger fixieren als die Kinder der Kontrollgruppe, signalisieren sie damit Erstaunen über ein nicht erwartungsgemäß eingetretenes Ereignis. Diese Methode der Messung der Aufmerksamkeitsspanne hat den entscheidenden Vorteil, dass auf diese Weise auch die Reaktionen von Kindern untersucht werden können, die noch nicht zu koordinierten Handlungen in der Lage sind. Wie das Erstaunen der Kinder im dargestellten Fall erkennen lässt, wissen sie bereits, dass feste Körper einander nicht durchdringen können. Folglich belegt dieses Experiment, dass Kinder bereits im Säuglingsalter über das **Konzept der Undurchdringlichkeit fester Körper** verfügen.

Auch das **Konzept der Objektpermanenz** ist bereits bei Säuglingen vorhanden. Das entscheidende Experiment, mit dem dies gezeigt wurde, verläuft folgendermaßen: In der Habituationsphase wurde 3 bis 4 Monate alten Säuglingen zunächst ein um 180° rotierender Schirm so lange vorgeführt, bis sie durch kurze Blickdauer signalisierten,



dass sie dieses Ereignis nicht länger interessierte. Anschließend wurde vor den Augen der Kinder ein Objekt hinter dem Schirm platziert. Wenn Piagets Theorie zutreffen würde, dann sollten Säuglinge nicht erwarten, dass ein Objekt, das sich außerhalb ihres Gesichtsfeldes befindet, die Rotation des Schirms stoppt. Genau das Gegenteil aber geschah. Wenn nämlich das für sie unerwartete, physikalisch unmögliche Ereignis eintrat, dass der Schirm ungehindert durch das Objekt hindurch eine vollständige Rotation von 180° ausführte, signalisierten die Säuglinge durch längere Blickdauer Erstaunen. Wenn jedoch die Rotation durch das Objekt aufgehalten wurde, signalisierten die Kinder mit deutlich kürzerer Blickdauer, dass sie über dieses Ereignis nicht erstaunt waren.

In diesem Zusammenhang stellt sich natürlich die Frage, warum Säuglinge, obwohl sie durchaus wissen, dass auch nicht wahrgenommene Gegenstände weiterexistieren, nicht nach dem unter dem Tuch versteckten Gegenstand greifen. Denn Piaget hatte seine Überlegungen zum Fehlen des Konzepts der Objektpermanenz im Säuglingsalter vor allem darauf gestützt, dass Säuglinge aufhören, nach Gegenständen zu greifen, wenn diese vor ihren Augen unter einem Tuch versteckt werden. Tatsächlich mehren sich Befunde, die darauf hindeuten, dass diese Tatsache in erster Linie auf die bei den Kindern aufgrund fehlender Frontalhirnreifung noch nicht ausgebildete Fähigkeit zur *Koordination von Handlungsplänen* zurückzuführen ist. Das heißt, sie können ihre Absicht, an einer bestimmten Stelle nach einem Objekt zu suchen, noch nicht mit ihren Greifhandlungen koordinieren.

Diese Erklärung wird zum Beispiel durch den folgenden Versuch gestützt: Zunächst wird vor den Augen von 1-jährigen Kleinkindern, die bereits nach Objekten außerhalb ihres Gesichtsfeldes suchen können, ein Objekt an einem bestimmten Platz A mit einem Tuch bedeckt und anschließend von ihnen wiedergefunden. Dieser Vorgang wird mehrmals wiederholt. Dann wird das Objekt vor ihren Augen an einem anderen Platz B mit einem Tuch bedeckt. Überraschenderweise suchen sie in diesem Fall aber nicht an Platz B nach dem Objekt, sondern wieder an Platz A! Zu beachten ist dabei allerdings, dass sie zwar nach dem Tuch greifen, das an Platz A liegt, dabei aber ständig zu Platz B hinblicken. Indem sich also ihre Aufmerksamkeit auf Platz B richtet, signalisieren sie, dass sie wissen, dass sich das gesuchte Objekt an diesem Platz befindet. Dieses Ergebnis wird so interpretiert, dass die Kinder aufgrund der noch un abgeschlossenen Reifung des Frontalhirns noch nicht in der Lage sind, die Handlung des Greifens nach dem Tuch mit ihrer Absicht zu koordinieren, das Objekt an Platz B zu suchen.

Inzwischen ist vielfach belegt, dass Kinder auch über weitere physikalische Kenntnisse verfügen, die sie nicht durch eigene Erfahrung erworben haben können. Dabei beschränkt sich das physikalische Wissen der Kinder im Säuglingsalter nicht auf die Eigenschaften von Gegenständen, sondern erstreckt sich auch auf physikalische Grundkräfte wie die Gravitation. Dieses Wissen entwickelt sich im Laufe des ersten Lebensjahres. Bereits mit 7 Monaten (aber noch nicht mit 5 Monaten) signalisieren Kinder durch deutlich längere Blickdauer Erstaunen über ein unerwartetes Ereignis, wenn ihnen vorgeführt wird, wie eine Kugel eine schiefe Ebene nicht hinab, sondern hinauf rollt. Sie erwarten also, dass die Kugel aufgrund der Gravitation die schiefe Ebene hinunter rollt. Kinder dieser Altersgruppe zeigen ebenfalls Erstaunen, wenn eine Kugel, die eine schiefe Ebene hinab rollt, nicht schneller wird, sondern langsamer. Diese

Untersuchungen sprechen dafür, dass Kinder bereits im Säuglingsalter das Konzept haben, dass die Gravitation auf Gegenstände einwirkt und sie konstant beschleunigt.

Bereits mit sechs bis zehn Monaten bemerken Säuglinge *kausale Beziehungen* zwischen Ereignissen. In einem typischen Experiment, mit dem gezeigt werden soll, dass Kinder das Bestehen von Kausalrelationen bereits in diesem Alter zur Kenntnis nehmen, wurden ihnen Videos vorgeführt, in denen jeweils ein bewegtes Objekt mit einem unbewegten Objekt zusammenstieß, woraufhin sich dieses zweite Objekt in Bewegung setzte. Im Anschluss an die Habituationsphase, in der sich die Kinder an diesen Ablauf gewöhnt hatten, wurde ihnen der Bewegungsablauf in verschiedenen Videos mit unterschiedlichen Objekten vorgeführt. In diesen Fällen signalisierten die Kinder nicht durch längere Blickdauer, dass sie über die Veränderungen erstaunt waren. Dies geschah erst, als man ihnen ein Video zeigte, in dem sich das unbewegte Objekt in Bewegung setzte, *bevor* das andere Objekt mit ihm zusammenstieß. Die Säuglinge blickten auf dieses für sie unerwartete Ereignis deutlich länger als auf die vorhergehenden Ereignisse. Diese längere Blickdauer wird so interpretiert, dass der in dem letzten Video dargestellte Bewegungsablauf ihre Annahme verletzt, dass sich unbelebte Objekte nicht von sich aus bzw. nicht ohne Einwirkung äußerer Ursachen bewegen können.

Gegen Ende des ersten Lebensjahres erwarten Kinder, dass größere Objekte auch größere Kräfte ausüben als kleinere Objekte. In einer Untersuchung wurde elf Monate alten Kindern zunächst ein Video gezeigt, in dem ein mittelgroßes Objekt auf ein Hindernis trifft und damit verursacht, dass sich dieses über eine bestimmte Wegstrecke bewegt. Im Anschluss an die Habituationsphase wurde einer Gruppe von Kindern ein Video gezeigt, in dem ein größeres Objekt mit der gleichen Geschwindigkeit wie das mittelgroße Objekt auf dasselbe Hindernis wie im vorigen Video trifft und damit verursacht, dass es sich jetzt über eine längere Wegstrecke bewegt als in dem ersten Video. Einer anderen Gruppe von Kindern wurde hingegen ein Video vorgeführt, in dem ein kleineres Objekt mit der gleichen Geschwindigkeit wie das mittelgroße Objekt auf dasselbe Hindernis trifft und damit verursacht, dass sich dieses über eine *längere* Wegstrecke bewegt als im ersten Video. Die Kinder der zweiten Gruppe blickten deutlich länger als die Kinder der ersten Gruppe auf das neue Video und signalisierten damit, dass sie sich darüber wunderten, dass ein kleines Objekt eine größere Kraft ausüben soll als ein mittelgroßes Objekt.

Das Verständnis kausaler Beziehungen beeinflusst nicht nur die Erwartungen von Säuglingen und Kleinkindern in Bezug auf den Ablauf physikalischer Ereignisse, sondern es hat darüber hinaus auch Einfluss auf ihre Fähigkeit, Folgen von Ereignissen zu erinnern und zu imitieren. Werden zum Beispiel einjährige Kleinkinder aufgefordert, eine Sequenz rein zufällig zusammengestellter Ereignisse zu erinnern und zu imitieren, dann schneiden sie bei dieser Aufgabe deutlich schlechter ab, als wenn die betreffenden Ereignisse in einem für sie klar ersichtlichen kausalen Zusammenhang stehen. Interessant ist in diesem Zusammenhang auch Folgendes: Zeigt man Kindern dieser Altersgruppe eine Sequenz von drei Ereignissen, von denen aber nur zwei miteinander in kausalem Zusammenhang stehen, dann erinnern sie sich überwiegend nur an die beiden Ereignisse, zwischen denen die kausale Relation besteht. Das Verstehen kausaler Relationen erleichtert also bereits im Alter von einem Jahr die Gedächtnisleistung.

## 2.2 Mathematisches Grundwissen

Kinder verfügen im sensomotorischen Entwicklungsabschnitt nicht nur bereits über physikalische Grundbegriffe, sondern auch über mathematische Konzepte. Das konnte Karen Wynn zeigen. Zum Beispiel verschwinden in einem Experiment nacheinander zwei Puppen hinter einem Schirm, aber nachdem der Schirm heruntergeklappt wird, ist nur noch eine Puppe da. Die Kinder signalisierten Erstaunen über das nicht erwartungsgemäß eingetretene Ereignis, indem sie das mit den Regeln der Mathematik unvereinbare und physikalisch unmögliche Ereignis deutlich länger fixierten. In verschiedenen Untersuchungen wurden einer Kontrollgruppe von Kindern ähnliche Szenarien gezeigt, jedoch mit dem entscheidenden Unterschied, dass diese Szenarien realistisch waren. Es zeigte sich, dass die Säuglinge bei der unrealistischen Situation sehr viel länger hinschauten als bei der realistischen Situation. Da sich die Säuglinge noch nicht unabhängig in ihrer Umgebung bewegen können, kann das Wissen über unrealistische Szenarien nicht durch Erfahrung erworben sein. Vielmehr ist davon auszugehen, dass die genetische Ausstattung des menschlichen Gehirns bereits auf einige der physikalischen und mathematischen Gesetzmäßigkeiten vorbereitet, nach denen die Welt funktioniert. Auf der Grundlage dieses universell verfügbaren Wissens können physikalische und mathematische Konzepte aufgebaut werden, die später als Grundlage für das in der Schule zu vermittelnde Wissen dienen können.

Eine Reihe von Untersuchungsergebnissen weisen darauf hin, dass Kinder bereits im Alter von fünf Monaten in Bezug auf die Zahlen Eins, Zwei und Drei über das **Konzept der gleichen Anzahl** verfügen. In diesen Untersuchungen wurden den Säuglingen Sequenzen von Bildern mit unterschiedlichen Objekten gezeigt, auf denen aber stets die gleiche Anzahl von Objekten zu sehen war. Im Anschluss an die Habituerungsphase wurden den Kindern dann Bilder mit einer anderen Anzahl von Objekten vorgeführt, und es zeigte sich, dass sie mit deutlich längerer Blickdauer Erstaunen über die veränderte Anzahl signalisierten. In einem anderen Experiment wurde sechs Monate alten Säuglingen wiederholt eine Puppe vorgeführt, die stets zweimal auf und ab sprang. Nach der Habituerungsphase wurde ihnen dann vorgeführt, wie diese Puppe entweder nur einmal oder aber dreimal auf und ab sprang. Die verlängerte Blickdauer der Kinder lässt darauf schließen, dass sie die zwei Sprünge der Puppe von einem Sprung oder drei Sprüngen durchaus unterscheiden können. Diese Studien deuten also darauf hin, dass schon fünf bis sechs Monate alte Säuglinge in der Lage sind, ein Objekt von zwei Objekten und zwei Objekte von drei Objekten zu unterscheiden. Allerdings beschränkt sich dieses Grundwissen über die Anzahl von Objekten auf sehr kleine Zahlen. Erst im Alter von drei bis vier Jahren zeigen Kinder ein vergleichbares Verständnis in Bezug auf etwas größere Zahlen. Selbst drei Jahre alte Kinder haben zum Teil noch Schwierigkeiten, vier Objekte von fünf Objekten zu unterscheiden.

Kinder verfügen im Säuglingsalter auch bereits über **grundlegendes Wissen über die Regeln der Addition und Subtraktion**. Dies wurde durch das folgende Experiment ebenfalls von Karen Wynn nachgewiesen: Ein fünf Monate altes Kind sieht eine Puppe auf einer Bühne. Anschließend wird ein Schirm hochgeklappt, so dass die Puppe für das Kind nicht mehr sichtbar ist. Danach sieht das Kind, wie eine Hand eine zweite Puppe hinter den Schirm stellt und leer zurückgenommen wird. Schließlich wird der Schirm wieder heruntergeklappt, und es kommen entweder zwei Puppen oder nur eine Puppe zum Vorschein. Die Mehrheit der fünf Monate alten Kinder blickt deutlich länger auf die Bühne, wenn nur eine Puppe zum Vorschein kommt. Sie signalisieren damit, dass sie

erwarten, dass  $1 + 1$  gleich 2 ist und dass sie überrascht waren, nur eine einzelne Puppe zu sehen. Ähnliche Ergebnisse wurden auch mit Bezug auf die Subtraktion erzielt: Die Kinder blickten deutlich länger auf die Bühne, wenn von zwei Objekten eines fortgenommen wird und danach nicht ein Objekt, sondern zwei Objekte übrig blieben. Allerdings muss auch in diesem Fall darauf hingewiesen werden, dass sich dieses grundlegende Verständnis von Addition und Subtraktion auf die Zahlen Eins bis Drei beschränkt und dass Kinder erst im Alter von vier bis fünf Jahren auch auf Additionen von zwei Objekten zu zwei weiteren Objekten ähnlich reagieren.

### 2.3 Räumliche Orientierung

Das Vermögen zur räumlichen Orientierung und Vorstellung wird oft in enge Beziehung zur visuellen Wahrnehmung gesetzt. So wird beispielsweise angenommen, dass wir uns nur das räumlich vorstellen können, was wir auch sehen können. Doch ist die räumliche Kognition unabhängiger von der visuellen Wahrnehmung, als häufig angenommen wird. Denn für die Entwicklung des räumlichen Orientierungs- und Vorstellungsvermögens spielt nicht nur der Gesichtssinn eine wichtige Rolle, sondern auch andere Sinne wie das Gehör und der Tastsinn. Dem Sehvermögen kommt zwar eine bedeutende Stellung für die Entwicklung der räumlichen Kognition zu, ist aber eben nicht der einzige Sinn, der für diese Entwicklung verantwortlich ist. Veranschaulichen lässt sich die Bedeutung des Gehörs für die räumliche Orientierung beispielsweise mit dem folgenden Experiment, bei dem drei Monate alte Säuglinge in einen völlig dunklen Raum gebracht werden, in dem sie überhaupt nichts sehen können: Lässt man sie verschiedene Geräusche aus unterschiedlichen Richtungen hören, dann können sie sich bereits in diesem Alter an den Geräuschen orientieren, um Objekte zu lokalisieren und nach ihnen zu greifen.

Vom Säuglingsalter an beginnen Kinder, räumliche Informationen in Bezug auf ihren eigenen Standort bzw. in Bezug auf ihren eigenen Körper zu repräsentieren. Nach Piaget ist dies aufgrund der *egozentrischen Perspektive* von Säuglingen und Kleinkindern auch die einzige Art und Weise, in der Kinder in diesem Entwicklungsabschnitt zur Repräsentation räumlicher Information in der Lage wären. Säuglinge und Kleinkinder können nach seiner Theorie räumliche Informationen grundsätzlich nur auf ihren eigenen Standort beziehen. Piagets These stützt sich vor allem auf Experimente, bei denen Säuglinge wiederholt ein rechts von ihnen verstecktes Spielzeug gefunden haben. Es zeigte sich nämlich, dass die Kinder auch dann weiterhin nach rechts griffen, wenn sie um 180 Grad gedreht wurden, so dass das Objekt nun eigentlich links von ihnen zu erwarten war.

Diese Ergebnisse konnten zwar mit sechs bis elf Monate alten Kindern in späteren Experimenten repliziert werden. Dennoch ist der von Piaget behauptete Egozentrismus nicht absolut, denn wenn das Spielzeug in der Nähe eines auffälligen Orientierungsmerkmals - wie zum Beispiel einem großen Turm aus bunten Bausteinen - versteckt wurde, dann fanden die Kinder das Spielzeug auch dann, wenn sie zuvor um 180 Grad gedreht wurden! Es stellt sich daher die Frage, wie Kinder Objekte finden, wenn sich ihre eigene Position verändert hat und sie sich nicht an auffälligen Merkmalen orientieren können.

Zahlreiche neuere Untersuchungen heben die zentrale Rolle der *Selbstlokalisierung* für das Finden von Objekten ohne äußere Orientierungspunkte hervor. Für die Selbstlokalisierung spielt wiederum die körperliche Bewegung eine große

Rolle, denn im Zuge der Eigenbewegung überprüft unser Gehirn ständig unsere räumliche Position. Der Zusammenhang zwischen Eigenbewegung, Selbstlokalisierung und der Fähigkeit zum Finden von Objekten zeigt sich beispielsweise daran, dass Kleinkinder, die schon selber krabbeln oder in einem Gehwagen laufen können, deutlich häufiger Objekte ohne äußere Orientierungspunkte finden können als Kinder der gleichen Altersgruppe, die zur Fortbewegung noch nicht in der Lage sind. Außerdem verfügen Kleinkinder, die bereits krabbeln oder laufen können, über eine bessere räumliche Wahrnehmung (Wahrnehmung von Entfernungen und dreidimensionalen Formen) als Kinder der gleichen Altersgruppe, die diese Bewegungen noch nicht ausführen können.

Besonders gut veranschaulicht das folgende Experiment mit zehn bis elf Monate alten Kindern die Bedeutung der körperlichen Bewegung für die Selbstlokalisierung im Raum und für das Finden von Objekten ohne äußere Orientierungspunkte: Die Kinder wurden vor eine durchsichtige Plexiglaskiste gesetzt, die an einer Seite offen war. Anschließend wurde vor ihren Augen ein Spielzeug unter einem Tuch versteckt. Kinder, die selber von der geschlossenen Seite der Plexiglaskiste zu deren offener Seite krabbelten, suchten das versteckte Objekt in der überwiegenden Zahl der Fälle an der richtigen Stelle. Kinder hingegen, die von der geschlossenen zur offenen Seite der Kiste *getragen* wurden, suchten das versteckte Objekt im allgemeinen an der falschen Stelle. Dies verdeutlicht die wichtige Rolle der körperlichen Bewegung für die kontinuierliche Aktualisierung der Informationen zur räumlichen Position, welche die Selbstlokalisierung und das Finden von Objekten ohne äußere Orientierungsmerkmale ermöglicht.

Säuglinge und Kleinkinder können räumliche Informationen nicht nur in Bezug auf den eigenen Standort, sondern ab sechs Monaten auch in Relation zu äußeren Orientierungspunkten repräsentieren. Die Bedingung ist allerdings, dass es sich dabei um einen deutlich sichtbaren und auffälligen Orientierungspunkt handelt, der sich in unmittelbarer Nähe des Zielobjekts (z.B. eines gesuchten Spielzeugs) befindet. Im Zuge ihrer kognitiven Entwicklung erwerben die Kinder schließlich die Fähigkeit, sich an mehreren und weniger auffälligen Punkten zu orientieren, die vom Zielobjekt auch weiter entfernt sein können.

### **3. Geistige Kompetenzen und Defizite beim Vorschulkind**

#### **3.1 Theorie des Geistes**

Im Zeitraum vom zweiten bis zum fünften Lebensjahr entwickeln Kinder ihre so genannte Theorie des Geistes. Das heißt, sie beginnen sich auf psychologische Konstrukte wie Absichten, Wünsche, Überzeugungen und Emotionen zu beziehen, um zu verstehen, wie unser Geist funktioniert und wie geistige Zustände unser Verhalten steuern bzw. beeinflussen. Kinder im Vorschulalter wissen bereits, dass sich viele unserer Überzeugungen auf Wahrnehmungen stützen, dass Wünsche und Absichten häufig durch körperliche Zustände wie zum Beispiel Hunger und Durst ausgelöst werden und dass Absichten und Überzeugungen Ursachen für Handlungen sein können.

Der erste Schritt in der Entwicklung der Theorie des Geistes besteht darin, den Zusammenhang zwischen den Absichten und Handlungen anderer Personen zu verstehen. In verschiedenen Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass Kinder bereits mit zwei Jahren in der Lage sind, diesen Zusammenhang zu erfassen. So können Kinder in diesem Alter beispielsweise die Handlungen von Charakteren aus ihnen vertrauten Geschichten in Übereinstimmung mit deren Absichten und Wünschen vorhersagen - auch

dann, wenn sich diese Absichten und Wünsche von denen der Kinder unterschieden. Fragt man zum Beispiel zwei Jahre alte Kinder, die selber lieber mit Spielzeugautos statt mit Puppen spielen, wofür sich „Lisa“ (eine Figur aus einer Erzählung), die Puppen Spielzeugautos vorzieht, entscheiden wird, wenn sie zwischen Spielzeugautos und Puppen wählen kann, so geben sie die korrekte Antwort, dass sie sich für Puppen entscheiden wird.

Interessanterweise verstehen Kinder im Alter von zwei Jahren zwar den Einfluss von Absichten und Wünschen auf das Verhalten, aber sie haben noch beträchtliche Schwierigkeiten, den Einfluss von Überzeugungen auf das Handeln zu erfassen. Dies zeigt sich zum Beispiel in dem folgenden Experiment: Zunächst wird den Kindern mitgeteilt, die Figur „Lisa“, die ihnen aus einer Erzählung vertraut ist, glaube, dass das Fahrrad in der Garage ist. Den Kindern selber ist bekannt, dass sich das Fahrrad nicht in der Garage, sondern im Garten befindet. Fragt man sie nun, wo Lisa nach dem Fahrrad suchen wird, dann lassen sie Lisas eigene Überzeugung außer Acht und antworten, dass Lisa im Garten nach dem Fahrrad suchen wird. Es gelingt den Kindern also noch nicht, bei ihren Überlegungen zu den Handlungen anderer Personen deren spezifische Überzeugungen zu berücksichtigen.

Dies ändert sich im Allgemeinen erst mit dem Erreichen des dritten Lebensjahres. Auch in den Gesprächen von dreijährigen Kindern zeigt sich, dass sie über eine weiter entwickelte Theorie des Geistes verfügen und die Beziehung zwischen Überzeugungen und Handlungen verstehen. Beispielsweise beantworten sie Fragen wie: „Warum sucht Lisa ihre Katze?“ mit Antworten wie: „Sie glaubt, sie sei fortgelaufen“ oder: „Sie will sie wiederhaben,“ und zeigen damit, dass sie sich in andere Personen hineinversetzen und deren Überzeugungen und Absichten nachvollziehen können. Im Alter von drei Jahren verfügen Kinder damit also über ein Modell des Geistes, das es ihnen gestattet, den Einfluss von Absichten, Wünschen und Überzeugungen auf unser Verhalten zu verstehen.

Darüber hinaus beginnen sie auch, Verständnis für die Besonderheiten geistiger Zustände wie Absichten, Emotionen und Überzeugungen zu entwickeln. So verstehen sie bereits, dass sich geistige Entitäten sowohl von materiellen, berührbaren Objekten wie Stühlen und Tischen als auch von physikalischen, nicht berührbaren Phänomenen wie Schatten und Tönen unterscheiden. Fragt man sie nämlich, warum man zum Beispiel Schatten nicht anfassen kann, dann antworten sie mit Erklärungen wie: „Weil Schatten etwas ist, das sich nicht berühren lässt“. Fragt man sie hingegen, warum man einen Traum nicht anfassen kann, dann lautet die typische Antwort: „Weil der Traum im Geist ist“. Die Mehrzahl der dreijährigen Kinder verfügt auch über Wissen darüber, auf welche Weise Überzeugungen und Wünsche entstehen. Sie wissen beispielsweise, dass das Betrachten eines Phänomens eine entsprechende Überzeugung über dieses Phänomen hervorrufen kann. Und sie wissen auch, dass der bloße Umstand, dass man sich in der Nähe von jemandem befindet, der ein Phänomen wahrnimmt, nicht hinreichend ist, um bei einem selber eine Überzeugung über das betreffende Phänomen hervorzurufen.

Bemerkenswert ist aber, dass bei dreijährigen Kindern das Verständnis des Zusammenhangs zwischen ihren eigenen Überzeugungen und den Überzeugungen anderer Personen noch in einer wichtigen und interessanten Weise eingeschränkt ist. Dieses Defizit zeigt sich in den sogenannten „**False-Belief-Tests**“ (*False-Belief* = *falsche Überzeugung*), mit denen geprüft wird, ob die Kinder in der Lage sind zu verstehen, dass

andere Personen entsprechend ihren eigenen Überzeugungen handeln - auch wenn die Kinder wissen, dass die betreffenden Überzeugungen unzutreffend sind. Ein Beispiel für einen solchen False-Belief-Test ist das folgende Experiment: Einem drei Jahre alten Kind wird eine geschlossene Schachtel gezeigt, auf deren Deckel der Schriftzug der bekannten Schokoladenbonbons „Smarties“ steht. Auf die Frage des Versuchsleiters, was in der Schachtel enthalten sei, antworten die Kinder daher, dass sie vermuten, die Schachtel enthielte Smarties. Anschließend wird die Schachtel geöffnet und den Kindern gezeigt, dass sie tatsächlich Bleistifte enthält. Nachdem die Kinder sich über diese Überraschung gewundert haben, fragt man sie, was *andere* Kinder, denen man diese Schachtel zeigt, in ihr vermuten werden. Diese Frage wird von Kindern unterschiedlicher Altersgruppen auf verschiedene Weise beantwortet. Die überwiegende Mehrzahl der fünf Jahre alten Kinder gibt die korrekte Antwort, dass die anderen Kinder in der Schachtel Smarties vermuten werden. Die Mehrheit der drei Jahre alten Kinder ist hingegen der Ansicht, dass sie immer schon wussten, dass sich Bleistifte und nicht Smarties in der Schachtel befinden, und sagen voraus, dass auch andere Kinder Bleistifte in der Schachtel vermuten werden.

Solche Experimente zeigen, dass Kinder in dieser Altersgruppe noch Schwierigkeiten haben, anderen Personen Überzeugungen zuzuschreiben, von denen sie selber wissen, dass sie falsch sind. Dieses Merkmal der geistigen Entwicklung im Kindesalter beschränkt sich nicht auf Kinder aus den westeuropäischen und nordamerikanischen Kulturen, sondern findet sich auch bei Kindern aus anderen kulturellen Kontexten. Beispielsweise konnte anhand von Untersuchungen gezeigt werden, dass drei bis fünf Jahre alte Kinder von Pygmäenstämmen, die im afrikanischen Regenwald leben, ganz ähnliche Antworten geben wie die westeuropäischen und nordamerikanischen Kinder dieser Altersgruppe.

Allerdings muss hervorgehoben werden, dass es dreijährigen Kindern, obwohl ihnen die dargestellten False-Belief-Tests erhebliche Schwierigkeiten bereiten, unter bestimmten Bedingungen dennoch möglich ist, sich in andere Personen hineinzusetzen und diese Aufgaben zu bewältigen. Wenn beispielsweise der Experimentator so tut, als würde er mit dem Kind zusammenarbeiten, um mit der Smarties-Schachtel ein anderes Kind in der gleichen Weise zu täuschen, wie es zuvor selber getäuscht worden ist, dann ist das Kind in der Lage, Bleistifte in der Smarties-Schachtel zu verstecken und korrekt vorherzusagen, dass das andere Kind Smarties in der Schachtel vermuten wird. Es hilft den Kindern also, die Perspektive anderer Kinder zu übernehmen, wenn sie selber in die Rolle des Täuschenden schlüpfen.

Die Schwierigkeiten von Kindern dieser Altersgruppe, sich in die Perspektive anderer Personen hineinzusetzen, zeigen sich auch daran, dass sie Probleme mit dem ***Verständnis des Unterschieds zwischen der Erscheinungsweise und der wirklichen Beschaffenheit von Gegenständen*** haben. Dies lässt sich mit dem folgenden Beispiel besonders gut illustrieren: Dreijährigen Kindern wurden Schwämme zum Spielen gegeben, die genauso aussahen wie Steine. Die Kinder konnten sich beim Spielen mit den Schwämmen davon überzeugen, dass sie weich und leicht waren. Auf die Frage, worum es sich bei diesen Objekten handelt, gaben sie die korrekte Antwort und sagten, es seien Schwämme. Als man sie aber fragte, wie diese Objekte *aussehen*, sagten die meisten Dreijährigen (aber nur wenige Fünfjährige), sie sähen aus wie Schwämme. Die richtige Antwort wäre hingegen gewesen, dass sie wie Steine aussehen. Dies belegt, dass sie noch

nicht in der Lage sind, von ihren eigenen Überzeugungen zu abstrahieren und sich in die Lage von Personen zu versetzen, die nur die Erscheinungsweise dieser Objekte kennen.

Während die dargestellten kognitiven Defizite in Bezug auf die Theorie des Geistes von den meisten Kindern mit Erreichen des fünften Lebensjahres überwunden werden, zeichnen sich Kinder, die unter *Autismus* leiden, gerade dadurch aus, dass sie diese Defizite nicht überwinden. Kinder, die unter diesem kognitiven Defekt leiden, entwickeln keine oder zumindest keine vollständige Theorie des Geistes und haben daher zeitlebens Schwierigkeiten mit dem False-Belief-Test sowie mit Tests zum Unterschied zwischen der Erscheinungsweise und der wirklichen Beschaffenheit von Gegenständen. Von Autismus sind ungefähr 4 von 10.000 Kindern betroffen.

Diese Untersuchungen zur Entwicklung der Theorie des Geistes bei präoperatorischen Kindern zeigen also, dass Piagets These von der gänzlich *egozentrischen Perspektive* dieser Kinder in wichtigen Punkten revidiert werden muss. Zwar trifft es zu, dass Kinder bis zum Alter von drei Jahren Schwierigkeiten haben, die Perspektive anderer Personen zu übernehmen. Aber der Umstand, dass sich auch für dreijährige Kinder Bedingungen herstellen lassen, unter denen sie diese Schwierigkeiten meistern können, spricht dafür, dass Piagets These, Kinder könnten in diesem Entwicklungsabschnitt die *Existenz anderer Perspektiven* noch nicht begreifen, nicht zutrifft. Dies wird auch durch die folgenden Überlegungen gestützt. Es gibt nämlich Untersuchungen darüber, dass Kinder bereits im Alter von drei Jahren versuchen, andere Personen zu täuschen - zum Beispiel um eigene Missgeschicke vor ihnen zu verbergen. Sie können es zwar noch nicht besonders gut und sagen etwa: „Ich habe die Vase nicht zerbrochen, und ich werde es auch nicht wieder tun“; aber sie machen auf jeden Fall den Versuch, andere zu täuschen. Wären aber Kinder bis zum Alter von sieben Jahren egozentrisch, wie Piaget behauptet, dann müssten sie von der Annahme ausgehen, dass sich die Überzeugungen anderer Personen nicht von ihren eigenen unterscheiden. Unter dieser Annahme wäre es aber für die Kinder auch nicht sinnvoll zu versuchen, andere Personen zu täuschen. Folglich kann der Umstand, dass sie den Versuch machen, andere zu täuschen, als Beleg dafür angesehen werden, dass sie zwischen ihren eigenen Überzeugungen und den Überzeugungen anderer Personen durchaus differenzieren können.

Auch zweijährige Kinder sind bereits in bestimmtem Umfang in der Lage, die Perspektive anderer Personen zu übernehmen. Bittet man sie, jemand anderem ein Bild zu zeigen, dann drehen sie das Bild so, dass der andere die Vorderseite sieht und sie selber die Rückseite. Stellt man zwischen Kind und Versuchsleiter eine Trennwand auf und setzt den Stoffhund Snoopy auf die Seite des Kindes, dann können zwei- bis dreijährige Kinder korrekt angeben, dass jetzt zwar sie selber Snoopy sehen, der andere jedoch nicht (und ebenso im umgekehrten Fall, wenn sich Snoopy auf der Seite des Versuchsleiters befindet). Kinder verstehen also schon im Alter von zwei bis drei Jahren, dass andere nicht notwendigerweise immer das Gleiche sehen wie sie selbst. Weitere Studien haben gezeigt, dass sie sich auch darüber im klaren sind, welche Bedingungen gegeben sein müssen, damit jemand einen Gegenstand sehen kann, zum Beispiel dass man, um etwas sehen zu können, die Augen offen und eine gerade Sichtlinie auf den Gegenstand haben muss. In diesem Sinne verstehen also schon zweijährige Kinder die *Existenz unterschiedlicher Wahrnehmungsperspektiven*. Jedoch können sie komplexere Perspektivübernahme-Aufgaben von der Art der Schildkröten-Aufgabe noch nicht lösen.



Es wird daher zwischen zwei Ebenen der Fähigkeit zur Perspektivübernahme unterschieden: Auf der ersten Ebene verstehen Kinder, dass ein anderer etwas sehen kann, was sie selber nicht sehen, und umgekehrt. Dieses Niveau erreichen sie mit etwa zwei Jahren. Auf der zweiten Ebene verstehen Kinder, dass ein- und dasselbe Objekt aus unterschiedlichen Wahrnehmungsperspektiven unterschiedlich aussehen kann. Dies können erst Kinder im Alter von vier Jahren.

### 3.2 Denken in Analogien

Das Denken in Analogien ist für uns Menschen besonders wichtig, weil uns die Erinnerung an vergangene Situationen oft hilft, mit neuen Situationen umzugehen. Wir lösen nämlich im Alltag eine Vielzahl von Problemen durch Analogieschlüsse, also indem wir uns an ähnliche Probleme erinnern, die wir bereits erfolgreich gelöst haben. Damit wir Probleme durch Analogienbildung lösen können, müssen wir zunächst die relevanten Übereinstimmungen zwischen den früheren und den neuen Situationen identifizieren. Dies ist die Voraussetzung dafür, dass wir die Einsichten, die wir in der Auseinandersetzung mit den früheren Problemen gewonnen haben, auf die neuen Probleme übertragen können.

Können bereits Vorschulkinder Ähnlichkeiten zwischen alten und neuen Problemen erkennen? Um dies herauszufinden, wurden ihnen zum Beispiel Aufgaben gestellt, bei denen es darum geht, Ähnlichkeiten zwischen Relationen festzustellen. Es muss also ein Objekt D gefunden werden, das im gleichen Verhältnis zu einem Objekt C steht wie zwei vorgegebene Objekte A und B. Um zum Beispiel die Aufgabe „*Vogel* verhält sich zu *Nest* wie *Hund* zu ...?“ zu lösen, muss das Kind die Relation *lebt in*, welche zwischen den Objekten *Vogel* und *Nest* besteht, auf den *Hund* übertragen, um auf die richtige Lösung *Hundehütte* zu kommen.

Wenn solche Aufgaben aus Inhaltsbereichen stammen, die den Kindern vertraut sind, können sie schon von Vierjährigen gelöst werden. Baut man zum Beispiel die obige Aufgabe in ein Spiel ein, bei dem die Kinder Bilderfolgen legen, können sie auch die Analogie bilden, dass sich *Hund* zu *Hundehütte* verhält wie *Vogel* zu *Nest*. Andere Untersuchungen befassen sich nicht mit Analogien zwischen Relationen, sondern mit Analogien zwischen Problemen. In diesem Zusammenhang geht es um die Frage, ab wann Kinder in der Lage sind, mithilfe von Analogieschlüssen die Lösung bereits bekannter Probleme auf neue Probleme anzuwenden. Um herauszufinden, ob Kinder zur Bildung solcher Analogien in der Lage sind, werden sie mit einem bestimmten Problem konfrontiert und müssen dieses lösen, indem sie die Lösung eines ihnen bekannten Problems auf das neue Problem übertragen. In einigen Experimenten mussten Säuglinge und Kleinkinder beispielsweise Analogieschlüsse ziehen, um an ein bestimmtes Spielzeug zu kommen, das sich außerhalb ihrer Reichweite befand.

In anderen Untersuchungen wurden zweijährigen Kindern Problemanalogie-Aufgaben gestellt, bei denen reale Objekte und Modelle verwendet wurden. Der Versuchsleiter zeigte den Kindern zunächst, wie er ein Gummiband zwischen zwei Plexiglasstangen wie eine Brücke aufspannte, über die er dann eine Orange rollte. Anschließend durften die Kinder die Orange selber über diese Brücke rollen. Danach wurde ihnen ein Transferproblem gestellt, in zu dem ein Gummiband, eine Vogelfigur und ein Modell mit einem Baum auf der einen und einem Stein auf der anderen Seite gehörten. Die Aufgabe bestand darin, den Vogel „zum Fliegen zu bringen“. Um diese

Aufgabe zu lösen, mussten die Kinder das Band zwischen dem Baum und dem Stein aufspannen und den Vogel auf dem Gummiband „fliegen“ lassen. Den Kindern in der Kontrollgruppe wurde diese Aufgabe gestellt, ohne dass ihnen vorher das Beispiel mit der rollenden Orange gezeigt wurde. Während 28 Prozent der Kinder aus der Experimentalgruppe, denen man zuvor das Beispiel mit der rollenden Orange gezeigt hatte, die Analogie zwischen diesen drei Problemen erkannten und das Gummiband zwischen den Objekten aufspannten, kamen nur sechs Prozent der Kinder aus der Kontrollgruppe auf diese Lösung.

Ein bekanntes Beispiel für ein Experiment, mit dem untersucht wurde, ob Vorschulkinder Problemanalogien erkennen können, ist die sogenannte „**Flaschengeist-Aufgabe**“. Vier und fünf Jahre alten Kindern wurde diese Aufgabe gestellt und die Lösung erklärt. Anschließend wurde untersucht, unter welchen Bedingungen die Kinder Übereinstimmungen zwischen der Flaschengeist-Aufgabe und anderen Problemen erkennen konnten. Beim Flaschengeist-Problem geht es darum, dass der Geist Edelsteine in seine Flasche hineinbekommen will, ohne sie dabei zu beschädigen. Die Lösung besteht darin, dass er seinen Teppich zusammenrollt und die Edelsteine hindurchrutschen lässt. In dem Experiment wurde den Kindern das Flaschengeist-Problem anhand von Spielsachen dargestellt. Ein Stück Papier stellte dabei den Zauberteppich dar, der zu einem Rohr zusammengerollt wurde, so dass die Edelsteine durch dieses Rohr in die Flasche rutschen konnten. Damit sich die Kinder die Zielstruktur des Problems verdeutlichen konnten, wurden sie dabei gefragt, worin das Problem besteht und was der Flaschengeist unternehmen muss, um sein Transportproblem zu lösen.

Im Anschluss daran wurde den Kindern eine neue Aufgabe gestellt: das sogenannte „**Osterhasen-Problem**“. Bei dieser Aufgabe ging es darum, dass der Osterhase seine Eier von einer Seite eines Flusses auf die andere Seite bringen musste, ohne dass sie dabei nass wurden. Die zum Flaschengeist-Problem analoge Lösung bestand darin, dass der Osterhase seine Decke zusammenrollte und seine Eier hindurchrollen ließ. Es zeigte sich, dass 70 Prozent der Kinder aus der Experimentalgruppe die Analogie erkannten. Von den Kindern der Kontrollgruppe dagegen, denen man zwar ebenfalls das Flaschengeist-Problem vorgeführt hatte, aber ohne sie zu fragen, was der Flaschengeist unternehmen muss, um das Problem zu lösen, erkannten nur 20 Prozent die Analogie. Daraus folgt, dass Kindern das Erkennen von Ähnlichkeiten zwischen bereits bekannten und neuen Problemen leichter fällt, wenn die Strukturen des früheren Problems in ihrem Gedächtnis repräsentiert sind. Indem die Kinder aus der Experimentalgruppe durch die Fragen des Versuchsleiters dazu angeregt wurden, Überlegungen dazu anzustellen, was der Flaschengeist unternehmen muss, um das Problem zu lösen, wurde bei ihnen die Bildung entsprechender Gedächtnisinhalte angeregt. In weiteren Untersuchungen konnte zudem gezeigt werden, dass die geistige Repräsentation solcher Strukturen sowohl durch die wiederholte Konfrontation mit Analogien als auch dadurch gefördert werden konnte, dass die Kinder aufgefordert wurden, beim Lösen von Problemen gezielt nach Analogien zu suchen. Lehrer sollten daher stets auf verschiedene Beispiele für ein bestimmtes Konzept hinweisen und auf strukturelle Ähnlichkeiten zwischen ihnen aufmerksam machen.

### **3.3 Deduktives Schließen**

Eine andere Form des logischen Denkens, die sich bereits früh entwickelt, ist das deduktive Schließen. Beim deduktiven Schließen werden die Konklusionen (Schlussfolgerungen) aus den zugrunde liegenden Prämissen logisch abgeleitet. Deduktive Schlüsse lassen sich beispielsweise durch *Syllogismen* wie den folgenden darstellen:

- (1) Alle Katzen bellen. (1. Prämisse)
- (2) Rex ist eine Katze. (2. Prämisse)
- (3) Rex bellt. (Konklusion)

Unter Voraussetzung dieser beiden Prämissen kann die Antwort auf die Frage: „Bellt Rex?“ nur lauten: Rex bellt. Zwar entsprechen diese Prämissen nicht den Tatsachen, denn Katzen bellen bekanntermaßen nicht. Aber für die Korrektheit einer Deduktion ist die Plausibilität ihrer Prämissen nicht von Belang. Stellt man Kindern Aufgaben dieses Typs, dann geht es nicht um die Frage, ob die Prämissen wahr oder falsch sind. Vielmehr geht es darum, ob die Kinder aus gegebenen Prämissen korrekte Schlüsse ziehen können.

Verschiedene Untersuchungen belegen, dass Kinder bereits im Vorschulalter in der Lage sind, aus nicht zutreffenden Prämissen richtige Schlussfolgerungen abzuleiten. Um dies zu zeigen, wurden fünf und sechs Jahre alten Kindern Aufgaben des folgenden Typs gestellt:

- Alle Katzen bellen.
- Rex ist eine Katze.
- Bellt Rex?

Die Prämissen, aus denen sie ihre Schlüsse ziehen sollten, waren dabei entweder *unzutreffend* („Alle Katzen bellen“), *bekannt* („Alle Katzen miauen. Rex ist eine Katze. Miaut Rex?“) oder *unbekannt* („Alle Hyänen lachen. Rex ist eine Hyäne. Lacht Rex?“). Während den Kindern der Experimentalgruppe die Prämissen mit Spielzeugfiguren veranschaulicht wurden, wurden sie den Kindern der Kontrollgruppe einfach nur mitgeteilt. Es zeigte sich, dass die Kinder aus der Experimentalgruppe Aufgaben aller drei Typen im Allgemeinen lösen konnten, während die Kinder aus der Kontrollgruppe meist nur die Aufgaben mit den bekannten Prämissen richtig beantworteten. Da es für diese Aufgaben ausreichte, auf das eigene Wissen zurückzugreifen, ließen sie sich auch ohne deduktives Schließen lösen.

In einer weiteren Untersuchung, in der nur Syllogismen mit unzutreffenden Prämissen verwendet wurden, wurden die Aufgaben auch den Kindern in der Experimentalgruppe nur in verbaler Form gestellt, um auszuschließen, dass ihnen die Spielzeugfiguren als Gedächtnisstütze dienten. Stattdessen sollten sie sich vorstellen, der Versuchsleiter sei auf einem anderen Planeten gewesen, auf dem zum Beispiel Katzen bellen. Auch unter diesen Voraussetzungen konnten die Kinder der Experimentalgruppe die Aufgaben im allgemeinen korrekt lösen. Kinder sind also bereits im Vorschulalter in der Lage, deduktive Schlüsse zu ziehen, wenn ihnen die logischen Probleme in einem vertrauten spielerischen Kontext präsentiert werden.

Die Fähigkeit zum deduktiven Schließen wird auch mit der sogenannten *Selektionsaufgabe* getestet. Bei dieser Aufgabe werden den Versuchspersonen zunächst konditionale, d.h. bedingte Information in Form von Regeln der Art „wenn p, dann q“ gegeben. In der abstrakten Version war die Regel nicht an bereits bestehendes Wissen gebunden, sondern waren willkürlich und deshalb schwerer zu verstehen. Es wurde gesagt, dass es Karteikarten gibt, bei denen auf der einen Seite ein Buchstabe und auf der

anderen Seite eine Zahl steht. Es solle die Regel gelten **„Wenn auf der einen Seite ein Vokal steht, dann steht auf der anderen Seite eine gerade Zahl.“** Welche der vier Karten im unteren Teil der Abbildung muss man unbedingt umdrehen, um zu entscheiden, ob die Regel stimmt? Während es unmittelbar einsichtig ist, dass die erste Karte mit dem „a“ umgedreht werden muss, machen die meisten Menschen den Fehler, die Karte mit der „4“ umzudrehen. Tatsächlich wäre es kein Regelverstoß, wenn bei der Karte mit der „4“ auf der anderen Seite ein Konsonant stünde, denn die Regel heißt ja **nicht** **„Nur** wenn auf der einen Seite ein Vokal steht, dann steht auf der anderen Seite eine gerade Zahl“. Würde hingegen bei der Karte mit der „7“ auf der anderen Seite ein Vokal stehen, so wäre das ein klarer Regelverstoß. Deshalb muss überprüft werden, ob auf der Karte mit dem „a“ wirklich auf der anderen Seite eine gerade Zahl steht, und ob auf der Karte mit der „7“ auf der anderen Seite **kein** Vokal steht. Wird die gleiche Aufgabe in einen sinnvollen Kontext eingebunden, indem z.B. gesagt wird **„Wenn der Brief zugeklebt ist, dann muß eine 1-Euro-Briefmarke drauf“**. Die Versuchspersonen sollen nun angeben, welche Fälle überprüft werden müssen, um festzustellen, ob die Regel erfüllt ist. Die Optionen, zwischen denen sie sich entscheiden müssen, sind *p* (z.B. ein zugeklebter Briefumschlag, von dem man die Rückseite sieht), *q* (ein Brief mit einer 1-Euro-Briefmarke, von dem man die Vorderseite sieht), *nicht p* (unverschlossener Brief, Rückseite) und *nicht q* (Brief mit einer 50-Cent-Briefmarke, Vorderseite).

Die korrekte Antwort lautet wieder- wie in der abstrakten Version-, dass *p* und *nicht q* überprüft werden müssen, um entscheiden zu können, ob die Regel zutrifft. Diesmal ist die Aufgabe aber ganz einfach. Kaum jemand käme auf die Idee, „q“ zu wählen. Die Regel **„Wenn der Brief zugeklebt ist, dann muss eine 1-Euro-Briefmarke drauf“** ist nicht verletzt, wenn auf einen unverschlossenen Brief eine 1-Euro Marke geklebt wird. Und es ist unmittelbar einsichtig, dass „nicht-q“ gewählt werden muss, denn es muss sichergestellt werden, dass der Brief mit der 50-Cent Briefmarke tatsächlich nicht verschlossen ist. Personen, denen die Selektionsaufgabe in der konkreten Version gestellt wird, sind in der Lage, sie durch deduktives Schließen zu lösen, wenn durch sie bestimmte Wissensstrukturen – sogenannte ***pragmatische Denkschemata*** – aktiviert werden. Die pragmatischen Denkschemata, die für die Selektionsaufgabe wichtig sind, bestehen vor allem aus Regeln, die festlegen, unter welchen Voraussetzungen etwas erlaubt ist (sog. Erlaubnisregeln) bzw. unter welchen Voraussetzungen ein bestimmtes Ereignis eintritt (zum Beispiel: **„Wenn Du willst, dass dieser Brief morgen ankommt, dann musst Du ihn als Eilsendung schicken,“** **„Wenn es neun Uhr ist, dann musst Du im Bett sein,“** oder: **„Wenn es geklingelt hat, dann darfst Du nicht mehr auf dem Schulhof bleiben“**). Zu erwarten ist, dass Kinder die Selektionsaufgabe lösen können, wenn durch die Art der Aufgabenstellung eines ihrer pragmatischen Denkschemata aktiviert wird.

Diese Hypothese wurde in mehreren Untersuchungen überprüft. Zu Beispiel wurden Regeln formuliert, die für sechs und sieben Jahre alte Kinder verständlich sein sollten. Diese Regeln lauteten: **„In dieser Stadt hat die Polizei die Regel aufgestellt, dass alle Laster außerhalb der Stadtmitte sein müssen“**, und: **„In diesem Spiel müssen alle Pilze außerhalb des inneren Bereichs sein“**. Die erste Regel, die einen praktischen Sinn hatte, wurde den Kindern anhand eines Spielbretts mit einem braunen Mittelbereich und einem weißen Außenbereich anschaulich gemacht. Innerhalb und außerhalb der braunen Fläche befanden sich Bilder von Autos und Lastern. Die zweite – willkürliche – Regel

wurde mit Hilfe des gleichen Spielbretts dargestellt. An der Stelle der Auto- und Lasterbilder befanden sich in diesem Fall jedoch Bilder von Blumen und Pilzen innerhalb und außerhalb des inneren Bereichs. Dabei waren jeweils zwei Laster (oder zwei Pilze) und ein Auto (oder eine Blume) im braunen mittleren Bereich und ein Laster (oder ein Pilz) und drei Autos (oder drei Blumen) im weißen Außenbereich.

Den Kindern wurde zunächst die Aufgabe gestellt, die Bilder auf dem Spielbrett so anzuordnen, dass die Regel eingehalten wurde. Sie mussten also die Laster bzw. die Pilze aus dem inneren Bereich herausnehmen. Anschließend wurde überprüft, ob die Kinder die Regel verstanden hatten, indem der Versuchsleiter einen Regelverstoß beging. Beispielsweise setzte er ein Auto oder eine Blume in den mittleren Bereich und fragte die Kinder dann, ob dies mit den Regeln vereinbar sei oder nicht. Danach wurden die Kinder aufgefordert, selber einen Regelverstoß zu begehen, indem sie ein Bild falsch platzierten. Erst jetzt wurde ihnen eine Version der Selektionsaufgabe gestellt. Dabei wurde ihnen das Spielbrett mit zwei verdeckt darauf liegenden Bildern gezeigt, eines im braunen und eines im weißen Bereich. Die Kinder wurden gefragt, (1) welches der Bilder sie umdrehen mussten, um herauszufinden, ob die Regel verletzt wurde, (2) ob das Bild, das sie schließlich umdrehten, einen Regelverstoß darstellte, und (3) ob das andere Bild die Regel verletzte. Es zeigte sich, dass bei der Aufgabe, deren Regel einen praktischen Sinn hatte (keine Laster im Stadtzentrum), 45 Prozent der Sechsjährigen und 77 Prozent der Siebenjährigen alle drei Fragen korrekt beantworteten. Hingegen waren bei der Version mit der willkürlichen Regel (keine Pilze im inneren Feld) nur 5 Prozent der Sechsjährigen und 23 Prozent der Siebenjährigen in der Lage, die Aufgabe korrekt zu lösen.

Wie diese Untersuchung zeigt, können Kinder also bereits im Alter von sechs bis sieben Jahren die Selektionsaufgabe durch deduktives Schließen lösen, wenn diese Aufgabe inhaltlich so formuliert ist, dass durch sie ein passendes pragmatisches Denkschema aktiviert wird. Darüber hinaus zeigte sich, dass ein in einem *praktischen* Kontext aktiviertes Denkschema auf einen *abstrakten* Kontext übertragen werden kann. Einem Teil der Kinder, welche die Aufgaben-Version mit den Lastern erfolgreich gelöst hatten, wurde nämlich anschließend eine abstrakte Version der Selektionsaufgabe mit Quadraten und Dreiecken gestellt („Alle Dreiecke müssen in der Mitte sein“). Bei insgesamt 30 Prozent der bei der Lasteraufgabe erfolgreichen Sechsjährigen und 59 Prozent der bei der Lasteraufgabe erfolgreichen Siebenjährigen kam es zu einem Transfer von der Lasteraufgabe zu der Aufgabe mit den Dreiecken. Dies belegt, dass die Kinder die logischen Prinzipien verstanden hatten, auf denen ihre richtigen Antworten bei der konkreten Version der Selektionsaufgabe beruhten, und dass sie dieses Verständnis anschließend auf die abstraktere Version der Aufgabe mit den Dreiecken übertragen konnten.

### **3.4 Das Verständnis von Invarianz**

Kinder, die über das *Konzept der Erhaltung* verfügen und damit ein *Verständnis von Invarianz* besitzen, können verstehen, dass eine gegebene Menge auch dann gleich bleibt, wenn sich ihr Aussehen durch eine neue Anordnung verändert. Diesem logischen Konzept kommt in Piagets Theorie große Bedeutung zu, weil eine seiner zentralen Thesen lautet, das präoperatorische Stadium zeichne sich dadurch aus, dass die Kinder in diesem Entwicklungsabschnitt noch nicht über das Konzept der Erhaltung verfügen. Dieses Konzept aber ist die Grundlage für die Aneignung des Zahlbegriffs, denn um

verstehen zu können, dass sich Mengen nicht ändern, solange nichts hinzugefügt oder weggenommen wird, muss man das Invarianzprinzip begriffen haben. Kinder, die über das Konzept der Erhaltung verfügen, wissen auch, dass eine Menge gleich bleibt, auch wenn sich ihr Aussehen verändert, weil die Veränderung ihres Aussehens *reversibel* ist.

Um die Einsicht von Kindern in das Invarianzprinzip zu überprüfen, entwickelte Piaget die sogenannte *Erhaltungsaufgabe*. In diesem Experiment werden die Kinder zunächst aufgefordert, zwei identische Mengen miteinander zu vergleichen. Anschließend wird eine der beiden Mengen transformiert. Zum Beispiel werden den Kindern zwei Reihen von Perlen gezeigt, die einander jeweils auf gleicher Höhe gegenüber liegen, oder zwei Gläser, die gleich hoch mit Flüssigkeit gefüllt sind. Der Versuchsleiter ändert dann vor den Augen der Kinder das Aussehen einer der beiden Mengen, indem er beispielsweise die Flüssigkeit aus einem der beiden Gläser in ein niedrigeres und breiteres Glas umfüllt oder die Perlen in einer der beiden Reihen weiter auseinander legt, so dass die Reihe länger aussieht. In Piagets Versuchen zeigte sich, dass die meisten Kinder unter sieben Jahren noch nicht verstanden, dass die Mengen trotz des veränderten Aussehens gleich blieben. Sie glaubten nämlich, dass sich in dem breiteren Glas weniger Wasser befindet bzw. dass die längere Reihe mehr Perlen enthält.

Eine andere, einfachere Methode, um bei Kindern das Verständnis des Konzepts der Invarianz zu überprüfen, besteht darin, den Kindern eine *einzig*e Menge zu zeigen – wie etwa *ein* Glas mit Flüssigkeit oder *eine* Reihe Perlen – und anschließend das Aussehen dieser einen Menge zu verändern, indem man die Flüssigkeit in ein niedrigeres und breiteres Glas umfüllt bzw. die Reihe der Perlen auseinander zieht. Anschließend könnte den Kindern dann die gleiche Frage nach der Invarianz dieser Mengen gestellt werden. Dieses Vorgehen wurde in einigen Untersuchungen angewendet. Es wurde vermutet, dass Kinder bei dieser einfacheren Fragestellung das Invarianzprinzip bereits früher verstehen als bei Piagets Erhaltungsaufgabe. In der klassischen Erhaltungsaufgabe ist nämlich ein transitiver Schluss versteckt, der für die Kinder eine zusätzliche Schwierigkeit darstellt.

In der klassischen Erhaltungsaufgabe werden den Kindern zwei Mengen präsentiert, Q1 und Q2. Anschließend werden sie aufgefordert, diese beiden Mengen miteinander vergleichen, nachdem eine der beiden anders angeordnet wurde (z.B. Q1 zu Q1A). Die Kinder müssen also Fragen wie die folgende beantworten: „Ist es mehr, weniger oder genauso viel wie vorher?“ Um dies richtig zu beantworten, müssen sie folgende Überlegung anstellen:

- (a) Menge 1 = Menge 2 ( $Q1 = Q2$ )
- (b) Aus Menge 1 ist Menge 1A geworden. Die beiden sind jedoch äquivalent, und deshalb gilt:
- (c) Menge 1A = Menge 2 ( $Q1A = Q2$ )

Nur wenn die Kinder alle drei Schritte dieser transitiven Schlussfolgerung vollziehen können, sind sie in der Lage, die Erhaltungsaufgabe korrekt zu lösen. Diese Aufgabe erfasst also die *Erhaltung von Äquivalenz* und nicht die *Erhaltung von Identität*, wie dies bei der oben genannten einfacheren Aufgabe der Fall ist.

In Untersuchungen mit vier und sechs Jahre alten Kindern wurden Aufgaben zur Äquivalenz- und Identitätserhaltung miteinander verglichen. Den Kindern wurden die Perlen-Aufgabe (Erhaltung der Zahl), die Flüssigkeits-Aufgabe (Erhaltung von Flüssigkeitsmengen), eine Aufgabe mit zwei Stiften (Erhaltung der Länge – die beiden

Stifte lagen einander zunächst auf gleicher Höhe gegenüber, dann wurde einer der beiden verschoben) sowie eine Aufgabe mit zwei Kugeln aus Knetmasse gestellt (Erhaltung fester Quantitäten – die Ausgangskonstellation waren zwei gleich große Kugeln, dann wurde aus einer der beiden eine lange Wurst geformt). Diese Untersuchungen zeigten, dass es den vierjährigen wie den sechsjährigen Kindern leicht fiel, die *Invarianz einer einzigen Menge* zu erkennen, dass aber die Vierjährigen noch Schwierigkeiten hatten, die *quantitative Äquivalenz zweier Mengen* zu beurteilen. Daraus wurde die Folgerung abgeleitet, dass die beiden verschiedenen Typen von Erhaltungsaufgaben unterschiedliche kognitive Fähigkeiten voraussetzen. Beide Aufgabentypen erfassen zwar die Einsicht in Invarianz. Aber nur die einfachere Aufgabe, bei der es um die Erhaltung der Identität einer einzigen Menge geht, kann als reines Maß für das Verständnis der Invarianz gelten, weil bei Piagets klassischer Erhaltungsaufgabe zusätzlich das Verständnis von Transitivität vorausgesetzt wird.

Allerdings teilen nicht alle Entwicklungspsychologen die Auffassung, dass Äquivalenzerhaltungsaufgaben die logischen Fähigkeiten von Kindern unter fünf bis sechs Jahren grundsätzlich übersteigen. Diese Einwände stützen sich auf die **pragmatischen Aspekte** der klassischen Erhaltungsaufgabe von Piaget. Bei dieser Aufgabe sieht sich das Kind einem Erwachsenen gegenüber, der ihm Fragen über zwei Mengen stellt, dann die Erscheinungsweise einer der beiden Mengen verändert und die gleiche Frage noch einmal stellt. Wenn jemand die gleiche Frage zweimal stellt, dann bedeutet das meistens, dass man beim zweiten Mal eine *andere* Antwort geben sollte. Dies gilt umso mehr, wenn das Gegenüber älter ist als man selbst und gerade etwas anscheinend Bedeutungsvolles getan hat. Aus pragmatischer Sicht könnten die Kinder also schließen, dass der Versuchsleiter mit ihnen über die Veränderung sprechen will, die er soeben durchgeführt hat. Möglicherweise antworten Sie dann auf die Frage, von der sie *glauben*, dass ihr Gegenüber sie stellen will, anstatt darauf zu achten, was *tatsächlich* gefragt wird. Nach dieser Auffassung sind also in erster Linie pragmatische Aspekte der Erhaltungsaufgabe für die falschen Antworten der Kinder verantwortlich.

Um diese Hypothese zu überprüfen, wurde das **Experiment des „ungezogenen Teddys“** entwickelt. Der Versuchsleiter sagte den Kindern, dass er ein besonderes Spiel mit ihnen spielen würde, und er zeigte ihnen auch einen Teddy in einem Pappkarton. Er teilte den Kindern mit, dass der Teddy ungezogen ist und dass sie damit rechnen müssten, dass er gelegentlich aus seinem Karton herauskommen und versuchen würde, die Spielsachen durcheinander zu bringen und das Spiel zu stören. Anschließend wurden die Materialien für die Erhaltungsaufgabe vor den Kindern ausgebreitet (zum Beispiel legte der Versuchsleiter die Spielsteine in zwei Reihen hin, so dass die Steine beider Reihen stets auf gleicher Höhe lagen) und fragte: „Sind in dieser oder in jener Reihe mehr Steine oder sind es gleich viele Steine?“ Jetzt erschien der ungezogene Teddy auf der Bildfläche und veränderte die Länge einer der beiden Reihen, indem er sie ein wenig zusammen schob. Nachdem der Teddy ausgeschimpft worden war, wurden die Kinder erneut nach der Anzahl der Steine in den beiden Reihen befragt. Unter dieser Bedingung der *unbeabsichtigten* Veränderung der Reihen antworteten die meisten der vier und fünf Jahre alten Kinder in Übereinstimmung mit dem Konzept der Erhaltung. Damit wird die Hypothese bestätigt, dass sich pragmatische Aspekte darauf auswirken, wie die Kinder die Fragen des Versuchsleiters interpretieren.

### 3.5 Räumliche Orientierung

In dem vorangegangenen Abschnitt über kognitive Kompetenzen und Defizite im Säuglingsalter wurde im Zusammenhang mit dem räumlichen Orientierungs- und Vorstellungsvermögen bereits auf die wichtige Rolle der eigenen körperlichen Bewegung für die Selbstlokalisierung im Raum sowie für die visuelle Wahrnehmung räumlicher Eigenschaften eingegangen. Der Einfluss der eigenen Bewegung auf die Fähigkeit zur räumlichen Selbstlokalisierung lässt sich auch bei Vorschulkindern nachweisen. In einem Experiment wurden beispielsweise fünf Jahre alte Kinder zu Hause aufgefordert sich vorzustellen, sie wären in ihrem Klassenraum im Kindergarten. Sie mussten sich dabei vorstellen, von ihrem eigenen Platz im Klassenraum aufzustehen, nach vorne zum Platz der Kindergärtnerin zu gehen und sich zur Klasse hin umzudrehen. Anschließend wurden sie aufgefordert zu zeigen, in welcher Richtung sich aus dieser vorgestellten Perspektive verschiedene vertraute Gegenstände - wie zum Beispiel die Garderobe, das Goldfischglas, die ABC-Tafel etc. - befinden. Während sich die Kinder der ersten Gruppe diese Bewegungen tatsächlich nur *vorstellen* durften, war es den Kindern der zweiten Gruppe erlaubt, beim Vorstellen entsprechend den vorgestellten Bewegungen zu Hause *umherzugehen*. Es zeigte sich, dass die Kinder der zweiten Gruppe die gestellten Anforderungen weitaus besser bewältigen konnten als die Kinder der ersten Gruppe, die sich diese Bewegungen nur vorstellen durften.

Im Alter von fünf Jahren sind Kinder in der Lage, die räumliche Position von Objekten in Relation zu mehreren Orientierungspunkten zu repräsentieren - wie zum Beispiel die Position eines Objekts zwischen einem Baum und einer Straßenlaterne. Bewegen sich Kinder dieser Entwicklungsstufe jedoch in einer Umgebung, wo es - wie zum Beispiel bei einem Spaziergang im Wald oder auf einem fremden Schulgelände - wenig Orientierungspunkte gibt oder wo diese Orientierungspunkte vom Ausgangspunkt weit entfernt sind, haben sie mit der räumlichen Orientierung noch Schwierigkeiten. Sie haben daher Probleme, zum Ausgangspunkt zurückzufinden. Untersuchungen mit Kindern aus verschiedenen Kulturen haben gezeigt, dass das Vermögen zur räumlichen Orientierung von kulturellen Einflüssen abhängig ist. So schnitten Kinder der australischen Aborigines, für die die Fähigkeit zur räumlichen Orientierung ohne äußere Anhaltspunkte für das Leben in der Wildnis sehr wichtig ist, in verschiedenen Orientierungstests deutlich besser ab als nordamerikanische und westeuropäische Kinder der gleichen Altersgruppe.

### 3.6 Wissen von belebten und unbelebten Objekten

Kinder interessieren sich bereits sehr früh für Lebewesen. Ein Anzeichen für ihr Interesse ist zum Beispiel die Häufigkeit, mit der sie sich auf Lebewesen beziehen, sobald sie zu sprechen beginnen. In einer Untersuchung über die 50 ersten Wörter, die von Kindern zu Beginn der Sprachentwicklung verwendet werden, zeigte sich, dass die beiden Begriffe, die mit großem Abstand am häufigsten verwendet wurden, „Hund“ und „Katze“ waren. „Ente“, „Pferd“, „Bär“, „Vogel“ und „Kuh“ gehörten ebenso zu den am häufigsten verwendeten Begriffen. Im Alter von vier bis fünf Jahren manifestiert sich das Interesse der Kinder für Lebendiges in dem oft erstaunlichen Umfang des Wissens, das sie über Tiere und Pflanzen erwerben, und das bereits biologische Prozesse wie Vererbung, Krankheit und Heilung umfasst, die nicht leicht zu beobachten sind.



Ungeachtet ihres großen Interesses haben Vorschulkinder dennoch eine ganze Reihe von charakteristischen Misskonzepten in Bezug auf Lebewesen. Zum Beispiel haben Kinder im Alter von vier bis sechs Jahren die Tendenz, *Tiere zu personifizieren*. Das heißt, sie schreiben ihnen in den Erklärungen von Verhaltensweisen Absichten und Handlungsziele zu, die tatsächlich nur Menschen plausibel zugeschrieben werden können. Außerdem verwechseln Kinder im Alter zwischen vier und sechs Jahren noch häufig wesentliche Eigenschaften belebter und unbelebter Objekte. Zum Beispiel glauben 40 % der fünf bis sechs Jahre alten Kinder in Israel und Japan, dass Pflanzen nicht lebendig sind. Zudem sind ungefähr 20 % der japanischen Kinder der Ansicht, dass Steine und Stühle lebendig sind. Viele Psychologen vertreten daher die Auffassung, dass Kinder erst im Alter von sieben bis zehn Jahren ein angemessenes Verständnis von Lebewesen entwickeln.

Bereits im ersten Lebensjahr unterscheiden Kinder zwischen Menschen und unbelebten Objekten. Auch nicht-menschliche Lebewesen ziehen das Interesse von Säuglingen und Kleinkindern auf sich, doch verhalten sie sich zu ihnen anders als zu Menschen. Dies deutet darauf hin, dass sie bereits in diesem Entwicklungsabschnitt zwischen Menschen, nicht-menschlichen Lebewesen und unbelebten Dingen differenzieren. Allerdings geben diese Verhaltensweisen noch keinen Aufschluss darüber, ab wann Kinder eine *Konzeption des Lebendigen* entwickeln, die Menschen, Tiere und Pflanzen gleichermaßen umfasst und mit der sie Menschen als einen bestimmten Typ von Lebewesen auffassen. Es ist schwer, ihr Wissen über belebte und unbelebte Objekte einzuschätzen, bevor sie mit drei bis vier Jahren über genügend Begriffe verfügen, um sich sprachlich artikulieren zu können.

Interessanterweise haben Kinder bis zum Alter von fünf Jahren Schwierigkeiten, Menschen als Lebewesen aufzufassen, die anderen belebten Objekten wie Tieren und Pflanzen in wesentlichen Hinsichten ähnlich sind. Sie bestreiten daher, dass Menschen Lebewesen sind. Diese strikte Trennung zwischen Menschen und Lebewesen lässt sich mit dem folgenden Experiment veranschaulichen: Fünfjährige Kinder wurden gefragt, welche zwei Objekte von den folgenden drei Objekten einander am ähnlichsten sind: Menschen, Schimpansen, Raupen. Obwohl in diesem Fall Menschen und Schimpansen die meisten Gemeinsamkeiten aufweisen, antwortete die überwiegende Mehrzahl der Kinder, dass Schimpansen und Raupen einander am ähnlichsten sind. Auch in zwei weiteren Untersuchungen sagten die Kinder, dass Schimpansen und Raupen einander ähnlicher seien als jeweils den Menschen.

Aber auch der Status von Pflanzen als Lebewesen ist für Kinder in diesem Entwicklungsabschnitt schwer zu verstehen. Einerseits wissen zwar die meisten Vorschulkinder, dass Pflanzen ebenso wie Tiere im Unterschied zu unbelebten Dingen wachsen und sterben können. Andererseits glaubt die Mehrheit der Vorschulkinder trotzdem, dass Pflanzen nicht lebendig sind. Dies ändert sich erst im Alter von sieben bis neun Jahren. Ein wichtiger Grund, warum Kinder so lange brauchen, um zu begreifen, dass Pflanzen Lebewesen sind, liegt darin, dass sie die Eigenschaft lebendig zu sein mit der Fähigkeit gleichsetzen, sich in einer Weise zu bewegen, die der Nahrungsaufnahme und damit dem Überleben dient, und dass eben diese Art der Bewegung bei Pflanzen (das Ausrichten nach dem Stand der Sonne, das Wachsen der Wurzeln zum Wasser hin) aufgrund ihrer Langsamkeit so schwer zu beobachten ist.

Das Wissen von Vorschulkindern über belebte und unbelebte Objekte erstreckt sich auch auf die Besonderheiten biologischer Prozesse. So können sie diese Prozesse bereits von physikalischen Vorgängen und psychischen Prozessen unterscheiden und wissen beispielsweise, dass biologische Prozesse im Unterschied zu psychischen Prozessen von unseren Wünschen und Absichten unabhängig sind. Aufgrund dieses Wissens können Vorschulkinder korrekt vorhersagen, dass Personen, die zwar abnehmen möchten, aber weiterhin viel essen, ihr Gewicht nicht reduzieren werden, weil die Absichten dieser Personen keinen Einfluss auf den biologischen Prozess des Abnehmens haben. Vorschulkinder wissen zudem, dass die Eigenschaften belebter Objekte oft wichtige Funktionen für das Überleben des Organismus haben, während dies für unbelebte Objekte nicht gilt. Zum Beispiel wissen schon fünf Jahre alte Kinder, dass die grüne Farbe von Blättern für den Stoffwechsel der Pflanzen wichtig ist, während die grüne Farbe von Smaragden keine vergleichbare Funktion besitzt. Drei bis vier Jahre alte Kinder wissen auch bereits, dass Wachstum nur in einer Richtung verläuft - während unbelebte Objekte wie zum Beispiel Luftballons nicht nur größer, sondern auch kleiner werden können.

Vorschulkinder besitzen zwar noch keine Kenntnis von der DNS und den Mechanismen der Vererbung, aber sie wissen durchaus, dass Merkmale der Eltern tendenziell an ihre Nachkommen weitergegeben werden. So sagten sie bei einem Experiment zum Beispiel vorher, dass eine neugeborene Maus später die Haarfarbe ihrer Eltern haben wird - auch wenn die Maus unmittelbar nach der Geburt noch haarlos ist. Vorschulkinder wissen ebenfalls, dass bestimmte Aspekte des Wachstums und der Entwicklung eher durch die Abstammung als durch die Umwelt der Tiere bestimmt werden. So hatten fünf Jahre alte Kinder, wie Experimente ergaben, bereits verstanden, dass sich ein Tierjunges, das von Eltern einer anderen Gattung aufgezogen wird, dennoch zu einem ausgewachsenen Tier seiner eigenen Gattung entwickeln wird. In manchen Fällen überschätzen Vorschulkinder aber auch den Einfluss der Abstammung gegenüber dem Einfluss der Umwelt. So glauben beispielsweise viele Vorschulkinder, dass die Präferenzen von Jungen und Mädchen in Bezug auf ihre bevorzugten Spiele vollständig durch ihre Abstammung bzw. durch ihre Geschlechtszugehörigkeit bestimmt werden. Erst im Alter von neun bis zehn Jahren berücksichtigen Kinder auch den Einfluss von Umweltfaktoren auf Unterschiede im Verhalten von Jungen und Mädchen.

Vorschulkinder verfügen auch schon über ein grundlegendes Verständnis von Krankheit. So haben Kinder bereits im Alter von drei Jahren von Bakterien gehört, und sie besitzen auch eine ungefähre Vorstellung davon, wie sie wirken. Sie wissen zum Beispiel, dass der Verzehr von Lebensmitteln, die Bakterien enthalten, krank machen kann - und zwar ungeachtet des Umstands, dass diese Bakterien für sie nicht sichtbar sind. Zudem verstehen sie, dass psychologische Prozesse wie zum Beispiel die bloße Wahrnehmung von Bakterien im Essen für das Entstehen von Krankheiten nicht verantwortlich sind. Vorschulkinder wissen außerdem, dass in Pflanzen und Tieren - anders als in unbelebten Objekten - interne Prozesse ablaufen, die es ermöglichen, dass ihre Wunden heilen. Beispielsweise wissen bereits vier Jahre alte Kinder, dass eine Katze oder eine Tomatenpflanze, die einen Kratzer haben, von selber wieder genesen können, während dies für unbelebte Objekte wie einen angekratzten Stein oder ein Auto mit einem Kratzer nicht gilt.

### **3.7 Kausalität**

Obwohl Kinder bereits im ersten Lebensjahr über das Konzept von Ursache und Wirkung verfügen, wenden sie es in diesem Entwicklungsabschnitt doch nur dann an, wenn das Bestehen kausaler Relationen zwischen Ereignissen für sie offensichtlich ist. Ein zentraler Aspekt bei der Entwicklung des Kausalitätsverständnisses im Kindesalter besteht daher darin, dass die Kinder die Fähigkeit erwerben, das Vorliegen kausaler Beziehungen auch dann herauszufinden, wenn es zunächst nicht offensichtlich ist.

Ein anschauliches Beispiel für diese Art der Weiterentwicklung des Kausalitätsverständnisses liefert der folgende Versuch mit 1 1/2 bis 2 1/2 Jahre alten Kleinkindern. Den Kindern wurde ein für sie attraktives Spielzeug gezeigt und außerhalb ihrer Reichweite auf einem Tisch platziert. Zwischen dem Kind und dem Spielzeug lagen verschiedene Instrumente, die sich nach Länge und Form unterschieden. Um die Aufgabe bewältigen zu können, das Spielzeug mithilfe eines dieser Instrumente an sich heranzuziehen, mussten die Kinder die kausalen Relationen verstehen, die eines dieser Instrumente zu einem besseren Hilfsmittel zum Heranziehen des Spielzeugs machen als die übrigen Instrumente. In diesem Fall mussten sie also verstehen, dass sie ein Instrument von ausreichender Länge benötigten, an dessen Kopfende eine Leiste im rechten Winkel angebracht war. Es zeigte sich, dass die 2 1/2 Jahre alten Kinder diese Aufgabe deutlich besser bewältigen konnten als die 1 1/2 Jahre alten Kinder. Dieses Ergebnis stützt die These, dass die älteren Kinder die kausalen Relationen, die ein bestimmtes Instrument zu einem geeigneten Instrument zu Heranziehen von Gegenständen machen, besser verstehen als die jüngeren Kinder.

Die Entwicklung des Kausalitätsverständnisses im Kindesalter zeigt sich auch daran, dass Kinder ab dem Alter von ungefähr 2 1/2 Jahren beginnen, aktiv nach Ursachen zu suchen, wenn diese nicht offensichtlich sind. In einer Untersuchung wurden drei bis fünf Jahre alten Kindern zwei Objekte gezeigt, die sich stets zusammen bewegten. Als Ursache für diese gemeinsame Bewegung wurde den Kindern suggeriert, dass die Objekte mit einem für nicht sichtbaren Faden verbunden seien. Sobald die Kinder aber die beiden Objekte untersuchten, stellten sie fest, dass es eine solche Verbindung gar nicht gab. Viele der vierjährigen und die meisten der fünfjährigen Kinder reagierten darauf mit Erstaunen und suchten weiter nach möglichen Verbindungen zwischen den beiden Objekten. Gerade dieses Verhalten aber trat bei der Mehrheit der dreijährigen Kinder noch nicht auf. Wie das aktive Fortsetzen der Suche belegt, wussten die vier- und fünfjährigen Kinder bereits, dass die gemeinsame Bewegung der beiden Objekte eine Ursache haben muss, obwohl sie noch nicht in der Lage waren herauszufinden, worin diese Ursache bestand.

### **3.8 Mathematisches Grundwissen**

Im Alter von drei Jahren können die meisten Kinder korrekt bis Zehn zählen. Vorschulkinder verstehen damit ab diesem Alter die folgenden fünf Grundprinzipien, die dem Zählen zugrunde liegen:

- (1) Eins-zu-Eins-Korrespondenz: Jedes Objekt wird mit genau einem Zahlwort belegt.
- (2) Stabile Ordnung: Die Zahlen müssen stets in der gleichen Reihenfolge genannt werden.

(3) Kardinalität: Die Anzahl der Objekte in der betreffenden Menge entspricht der letzten Zahl, die beim Zählen genannt wird.

(4) Irrelevanz der Reihenfolge: Objekte können von links nach rechts, von rechts nach links sowie in jeder beliebigen anderen Reihenfolge gezählt werden.

(5) Abstraktion: Jede Menge distinkter Objekte oder Ereignisse kann gezählt werden.

Die Behauptung, dass Vorschulkinder diese Prinzipien verstehen, wird durch ihre Urteile über bestimmte Zählverfahren gestützt - und zwar durch ihre Urteile über inkorrektes Zählen wie auch über ungewöhnliches, aber korrektes Zählen. Wenn vier bis fünf Jahre alte Kinder zum Beispiel eine Puppe sehen, die Objekte in einer Weise zählt, die gegen die Eins-zu-Eins-Korrespondenzbedingung verstößt - indem zum Beispiel ein Objekt mit zwei Zahlwörtern belegt wird - dann behaupten sie, dass diese Zählung nicht korrekt ist.

Sehen sie hingegen, wie die Puppe die Objekte zwar in einer ungewöhnlichen Reihenfolge zählt - indem sie beispielsweise von der Mitte aus zu zählen beginnt -, dabei aber gegen keines der fünf genannten Prinzipien verstößt, dann sagen die Kinder, dass die Zählung korrekt ist. Die Kinder weisen häufig darauf hin, dass sie zwar selber nicht in dieser Weise zählen würden, dass es aber dennoch korrekt ist, wenn die Puppe in dieser Reihenfolge zählt. Ihre Fähigkeit zu verstehen, dass auch Verfahren, die sie selber nicht verwenden würden, korrekt sein können, zeigt, dass sie die oben genannten Prinzipien korrekten Zählens verstanden haben.

Die Geschwindigkeit, mit der Kinder Zahlwörter erlernen, ist in verschiedenen Kulturen unterschiedlich. Beispielsweise können die meisten fünf Jahre alten Kinder in China bis Hundert oder sogar noch weiter zählen, während Kinder der gleichen Altersgruppe in Nordamerika nicht annähernd so weit kommen. Ein wichtiger Grund für diesen Unterschied besteht in der größeren Regelmäßigkeit der chinesischen Zahlwörter. Sowohl im Chinesischen als auch im Englischen werden Zahlwörter ab Zwanzig nach der folgenden Regel gebildet: Zuerst kommt das Wort für die Zehner und anschließend das Wort für die Einer (zum Beispiel „twenty-one“, „twenty-two“, usw.). Während aber im Chinesischen auch die Zahlen von Zehn bis Neunzehn nach dieser Regel gebildet werden, trifft dies im Englischen, ebenso wie im Deutschen, gerade nicht zu. Stattdessen müssen die Zahlen zwischen Zehn und Neunzehn einzeln gelernt werden. Dies führt zu folgenden Unterschieden in der Lerngeschwindigkeit: Im Alter von drei Jahren sind die Zählkompetenzen von Kindern in China und Kindern aus Nordamerika noch gleich. In beiden Fällen kennen die Kinder die Zahlen von Eins bis Zehn. Während aber bereits vierjährige Kinder in China lernen, nach welchem Prinzip die Dezimalzahlen im Bereich von Zwanzig aufwärts gebildet werden, sind die nordamerikanischen Kinder dieser Altersgruppe in dieser Zeit noch damit beschäftigt, die Zahlen zwischen Zehn und Neunzehn einzeln zu lernen.

Bereits fünf Monate alte Säuglinge erkennen, dass Mengen von zwei oder drei Objekten etwas gemeinsam haben, doch dauert es noch mindestens ein Jahr, bevor sie das generelle Konzept der größeren und der kleineren Anzahl entwickeln. In einem Experiment wurden 16 Monate alten Kleinkindern auf einem Bildschirm wiederholt zwei Quadrate gezeigt, von denen das eine Quadrat einen Punkt und das andere Quadrat zwei Punkte aufwies. Die Kinder wurden jedes Mal belohnt, wenn sie den Bildschirm mit dem Quadrat mit zwei Punkten berührten. Nachdem sie gelernt hatten, zuverlässig das Quadrat mit den zwei Punkten zu berühren, wurden ihnen zwei neue Quadrate

präsentiert, von denen das eine drei und das andere vier Punkte aufwies. In dieser neuen Situation berührten die meisten Kinder das Quadrat mit den vier Punkten und zeigten damit, dass sie das Konzept der größeren und der kleineren Anzahl erworben hatten. Um dies zu überprüfen wurde ein zweites Experiment durchgeführt, in dem die Kinder zunächst dafür belohnt wurden, das Quadrat mit nur einem Punkt zu berühren. Als man den Kindern anschließend die Quadrate mit drei und vier Punkten präsentierte, wählten sie mehrheitlich das Quadrat mit drei Punkten und bestätigten damit die obengenannte These. Kinder brauchen allerdings viel Zeit, bevor sie diese Kompetenzen auch auf etwas größere Zahlen ausdehnen können. So können zum Beispiel nur sehr wenige dreijährige Kinder Fragen des folgenden Typs beantworten: „Was ist mehr: m Äpfel oder n Äpfel?“, wenn m und n Zahlen von fünf bis neun sind. Erst im Alter von fünf Jahren kann die Mehrzahl der Kinder Fragen dieses Typs für den Bereich der Zahlen von Eins bis Zehn korrekt beantworten.

#### **4. Kinder als universelle Novizen: Die Bedeutung des Wissens für das Lernen**

Neuere Untersuchungen haben gezeigt, dass Vorschulkinder bereits über eine weitaus ausgereifere *Theorie des Geistes* verfügen, als dies nach der Theorie Piagets der Fall sein sollte. Seine These, Kinder würden sich in diesem Entwicklungsstadium durch eine gänzlich egozentrische Perspektive auszeichnen, muss revidiert werden, denn bereits zwei bis drei Jahre alte Kinder sind unter bestimmten Bedingungen in der Lage, die Perspektive anderer Personen zu übernehmen. Hinzu kommt, dass Kinder eine Reihe von *logischen Fähigkeiten* besitzen, die sie nach Piagets Theorie noch nicht haben sollten. So können Kinder schon im Alter von vier und fünf Jahren *in Analogien denken und deduktiv schließen*. Auch die Untersuchungen zum *Konzept der Erhaltung* (Verständnis der Invarianz von Mengen) sprechen gegen Piagets Stufenmodell der kognitiven Entwicklung. Diese Untersuchungen zeigen nämlich, dass Kinder bereits im Vorschulalter – und damit deutlich früher, als dies nach Piaget möglich wäre – über die aufgeführten logischen Konzepte verfügen.

Vorschulkinder interessieren sich im Allgemeinen sehr für Lebewesen und besitzen ein vergleichsweise umfangreiches Wissen über Tiere. Auch wenn Kinder im Alter von vier bis sechs Jahren noch die Tendenz haben, die Verhaltensweisen von Tieren zu personifizieren, so entwickeln sie doch bereits ein *Konzept des Lebendigen*, sind in der Lage, biologische Prozesse von physikalischen und psychischen Prozessen zu unterscheiden und verstehen schon mit drei bis vier Jahren biologische Prozesse wie Wachstum, Heilung und Vererbung, die nicht leicht zu beobachten sind. Vorschulkinder verfügen zudem bereits über ein *Verständnis von Kausalität*, und sie beginnen im Alter von vier bis fünf Jahren, aktiv nach den Ursachen von Ereignissen zu suchen – und zwar auch dann, wenn das Vorliegen kausaler Relationen auf den ersten Blick nicht offensichtlich ist. Bereits im Vorschulalter verfügen Kinder über *mathematisches Grundwissen*. So können die meisten Vorschulkinder mit drei Jahren korrekt bis Zehn zählen und verstehen damit die Grundprinzipien, die dem Zählen zugrunde liegen. Die Geschwindigkeit, mit der Kinder Zahlwörter lernen, ist in verschiedenen Kulturen unterschiedlich, und sie hängt wesentlich von der Regelmäßigkeit der Zahlwörter ab. Ungefähr im Alter von fünf Jahren verstehen Kinder die Konzepte „größer als“ und „kleiner als“ in Bezug auf den Bereich der Zahlen von 1 bis 10.

In diesem Kapitel sollte deutlich werden, dass Kinder einerseits schon erstaunlich viele geistige Leistungen erbringen können, andererseits aber mit vielem noch überfordert sind. Diese Überforderung resultiert aber nicht daraus, dass Kinder bestimmte geistige Operationen noch nicht erbringen können. Es wurde vielmehr gezeigt, dass Kinder bei manchen Aufgabenstellungen schon sehr früh über geistige Operationen verfügen, die ihnen z.B. erlauben, Ursachen und deren Wirkungen zu analysieren oder logische Schlussfolgerungen zu ziehen. Diese geistigen Operationen – und das gilt auch für Erwachsene - können aber nur sinnvoll eingesetzt werden, wenn Wissen verfügbar ist. Menschen jedes Alters können Aufgaben besonders gut lösen, wenn diese in einem Inhaltsbereich angesiedelt sind, den sie durchschauen, d.h. für den sie reichhaltiges Wissen mitbringen. Dass Kinder vieles noch nicht können, liegt schlicht und ergreifend daran, dass sie aufgrund ihres Alters noch keine Zeit hatten, entsprechendes Wissen zu erwerben. Also: ***Nicht fehlende geistige Operationen, sondern fehlendes Wissen hält Kinder davon ab, bestimmte Aufgaben zu lösen.***

Man spricht in diesem Zusammenhang auch davon, dass Kinder ***universelle Novizen*** sind, d.h. sich in kaum einem Inhaltsgebiet wirklich gut auskennen. Wo dies aber doch der Fall ist, zeigen Kinder nicht selten bessere Leistungen als Erwachsene. Das kann man beispielsweise beim Memory-Spiel erleben, bei dem Kinder die Erwachsenen mit großem Vergnügen schlagen. Auch gibt es in Deutschland und in den USA Untersuchungen mit Kindern, die bereits sehr gut Schach spielen können. Die Gedächtnisleistung für Schachstellungen war bei den so genannten Kinder-Experten besser als bei erwachsenen Novizen, die die Schachregeln kannten, aber weniger intensive Spielerfahrungen hatten.

Ganz generell gilt: Was man sich im Gedächtnis merken kann, hängt entscheidend von dem bereits verfügbaren Wissen ab. Studien mit Erwachsenen zeigen klar, dass es kein generell gutes oder schlechtes Gedächtnis gibt, sondern dass man in Gebieten, in denen man sich gut auskennt, auch gute Gedächtnisleistungen zeigt. In Gebieten hingegen, in denen man sich nicht auskennt, vergisst man selbst weniger komplexe Information sehr schnell wieder. Da Kinder aufgrund ihres Alters noch keine Gelegenheit hatten, sich in vielen Gebieten auszukennen, sind ihre Gedächtnisleistungen im Allgemeinen schlechter als bei Erwachsenen, aber in den wenigen Gebieten, in denen sie sich auskennen, ist ihre Leistung genauso gut oder sogar besser als die von Erwachsenen.

Das bereits verfügbare Wissen spielt nicht nur eine entscheidende Rolle für die Gedächtnisleistung, sondern auch für die Schlussfolgerungen, die man ziehen kann. Der Entwicklungspsychologe Robert Keil hat einmal Kinder gefragt: „Wenn deine Mutter einen Bruder hätte, der jünger ist als du selbst, wäre das dann dein Onkel?“, oder aber: „Stell dir einen sehr netten älteren Mann vor. Er ist nicht verheiratet und hat keine Geschwister. Wäre das ein Onkel?“ Vorschulkinder beantworten die erste Frage mit „nein“ und die zweite mit „ja“. Keil hat sehr viele solcher Fragen gestellt, die alle nach dem gleichen Prinzip aufgebaut waren: Im einen Fall erfüllte das genannte Objekt die Kriterien für die Zugehörigkeit zu einer Kategorie, aber entsprach nicht dem Klischee, das man von dem Objekt hat (z.B. ist ein hässliches, von Öl verseuchtes Stück Land mitten im Meer definitionsgemäß eine Insel). Im anderen Falle entsprach das Objekt dem Klischee, aber erfüllte nicht die definitorischen Kriterien (z.B. ist ein wunderschönes Stück Land mit viel Sandstrand und Palmen, das mit dem Festland verbunden ist, keine Insel). Immer wieder stellte Keil fest, dass sich die Kinder bei der Frage an der

Zugehörigkeit zu einer Kategorie (z.B. „Insel“) nach *charakteristischen Oberflächenmerkmalen* und nicht an *definitiven Merkmalen* orientierten. In Inhaltsbereichen jedoch, in denen sich die Kinder auskannten, erkannten sie bereits früher, dass im Zweifelsfall die harten Definitionen zählen und deshalb der jüngere Bruder ein Onkel und das schöne Stück Land keine Insel ist. Unsere Welt ist voller Begriffe, in denen charakteristische Erscheinungsformen von Gegenständen andere Schlussfolgerungen nahe legen als harte definitionsgemäße Kriterien. Dass der Wal und der Delphin in dieselbe biologische Kategorie gehören wie der Hund und die Katze, nicht aber wie der Haifisch, ist nur verständlich, wenn man den theoretischen Hintergrund der Biologie kennt. Ansonsten liegt es nahe, Tiere eher nach ihrem Lebensraum und ihrer Oberflächenercheinung zu kategorisieren als nach der Art ihrer Fortpflanzung. Andererseits ist es keineswegs nur für Kinder typisch, sich bei der Kategorisierung an charakteristischen statt an definitiven Merkmalen zu orientieren. Erwachsene tun dies in Gebieten, in denen sie sich nicht auskennen, ebenfalls. Da aber Erwachsene aufgrund ihres Alters bereits auf vielen Gebieten Gelegenheit hatten, Wissen zu erwerben, ist bei ihnen die Orientierung an charakteristischen Oberflächenmerkmalen seltener.

## **5. Kognitive und neuronale Voraussetzungen der Fähigkeit zur Selbstkontrolle**

Eine grundlegende Voraussetzung für viele kognitive Leistungen und soziale Interaktionen besteht in der Fähigkeit, unmittelbare Handlungsimpulse, die zum Beispiel durch wahrgenommene Reize ausgelöst werden, zu verzögern oder sogar vollständig zu unterdrücken. Der Entwicklung der Fähigkeit zur Selbstkontrolle kommt damit eine zentrale Bedeutung für die kognitive und soziale Entwicklung zu. Diese Entwicklung ist ihrerseits von anderen kognitiven Faktoren wie dem Verfügen über symbolische Repräsentationen sowie von neuronalen Voraussetzungen wie der Entwicklung des Frontalhirns abhängig. In diesem Abschnitt werden die wichtigsten kognitiven und neuronalen Faktoren dargestellt, die für die Entwicklung der Fähigkeit zur Selbstkontrolle von Bedeutung sind.

### **5.1 Selbstkontrolle und symbolische Repräsentation bei Vorschulkindern**

Die Fähigkeit zur Selbstkontrolle ermöglicht es uns, unsere Überlegungen und Handlungen zu überwachen und zu kontrollieren sowie Handlungsimpulse zu unterdrücken. Würden wir stets auf alle attraktiven Umweltreize spontan reagieren und allen unmittelbaren Handlungsimpulsen sofort folgen, dann wären wir wohl kaum zu rationalem Verhalten in der Lage. Der Selbstkontrolle kommt auch eine zentrale Bedeutung für die kognitive und soziale Entwicklung zu. Es ist nämlich wichtig, die beiden folgenden Aspekte der kognitiven Entwicklung voneinander zu unterscheiden. Zum einen besteht die kognitive Entwicklung natürlich in dem Erwerb von Wissen und der Aneignung von Fähigkeiten. Zum anderen besteht sie aber auch in der Entwicklung der Fähigkeit zur Selbstkontrolle – das heißt, der Fähigkeit, Handlungsimpulse zu unterdrücken, die die Anwendung des erlernten Wissens und der erworbenen Fähigkeiten behindern oder überlagern. Bei der Analyse kognitiver Entwicklungen muss daher stets die Frage gestellt werden, ob bestimmte Lern- und Entwicklungsschritte in erster Linie durch die Aneignung neuer Konzepte oder aber durch die Verbesserung der Selbstkontrolle zustande kommen.

Um die Fähigkeit zur Selbstkontrolle bei Vorschulkindern zu testen, wurde eine ganze Reihe von Verfahren entwickelt. So gibt es Tests, bei denen die Kinder einen dominanten Handlungsimpuls verzögern müssen (delay tasks) – wenn sie zum Beispiel ihre Belohnung nur dann erhalten, wenn sie die Augen so lange geschlossen halten, bis der Versuchsleiter in ihrer Gegenwart ein Geschenk vollständig verpackt hat. Ebenso gibt es Tests, bei denen Kinder einen dominanten Handlungsimpuls unterdrücken und stattdessen einen entgegen gesetzten Impuls initiieren müssen (conflict tasks) – wenn sie zum Beispiel aufgefordert werden, „Tag“ zu sagen, wenn ihnen eine Karte mit einem Mond gezeigt wird, und „Nacht“, wenn ihnen eine Karte mit einer Sonne präsentiert wird.

Eine wichtige Voraussetzung für die Selbstkontrolle ist die *Steuerung der Aufmerksamkeit*. Gelingt es, die Aufmerksamkeit von einem auffälligen und attraktiven Merkmal eines Reizes – wie zum Beispiel dem Geschmack eines Marshmallows – abzuwenden und auf ein weniger auffälliges Merkmal zu richten, dann erleichtert dies die Unterdrückung dominanter Handlungsimpulse. *Eine entscheidende Voraussetzung für die Selbstkontrolle liegt also in der Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf solche Merkmale der Reize, die nicht die unerwünschten Handlungsimpulse auslösen.* Folglich hängen die Aufmerksamkeitssteuerung und die Selbstkontrolle von den *symbolischen Repräsentationen* ab, die einer Person zur Verfügung stehen, um sinnlich wahrgenommene Reize zu repräsentieren. Die Forschergruppe um die amerikanische Psychologin Stephanie Carlson ist daher der Frage nachgegangen, wie sich *symbolische Repräsentationen von unterschiedlichem Abstraktheitsgrad* auf die Fähigkeit zur Selbstkontrolle auswirken. Die Hypothese bestand dabei darin, dass das Verfügen über symbolische Repräsentationen tatsächlich positiven Einfluss auf die Aufmerksamkeitssteuerung sowie auf die Unterdrückung von Handlungsimpulsen in so genannten „conflict tasks“ hat.

Diese Hypothese wurde in zwei verschiedenen Untersuchungen geprüft. In einer ersten Studie wurde zunächst bei drei- bis vierjährigen Kindern untersucht, in welcher Beziehung die Fähigkeit zur Selbstkontrolle zum Lebensalter sowie zu den sprachlichen Leistungen steht. Dazu wurden die Kinder mit einem „conflict task“ getestet, bei dem sie auf die jeweils kleinere Menge von Süßigkeiten zeigen mussten, um die jeweils größere Menge zu erhalten. Es zeigte sich, dass sowohl das Lebensalter als auch die sprachlichen Leistungen in einem positiven Zusammenhang zur Fähigkeit der Selbstkontrolle stehen. Die älteren Kinder sowie die Kinder mit besseren sprachlichen Leistungen waren erfolgreicher bei der Bewältigung des Tests als die jüngeren Kinder sowie die Kinder mit geringeren sprachlichen Fähigkeiten.

Anschließend wurde in einer zweiten Studie der Einfluss des Grades der Abstraktion der symbolischen Repräsentationen auf die Selbstkontrolle untersucht. Hierzu wurden diesmal nur dreijährige Kinder mit einem „conflict task“ getestet, bei dem es wiederum darum ging, auf die jeweils kleinere Menge zu zeigen, um die jeweils größere Menge an Süßigkeiten zu erhalten. Das Besondere bei diesem Versuch bestand darin, dass die Mengen der Süßigkeiten mit unterschiedlichen Symbolen repräsentiert wurden. Während den Kindern in der einen Gruppe direkt die Süßigkeiten gezeigt wurden, mussten die Kinder der anderen drei Gruppen auf Symbole wie zum Beispiel Steine, Punktmuster oder Tiere (eine Maus oder einen Elefanten) zeigen, die die betreffenden Mengen von Süßigkeiten repräsentierten. Dabei stellte sich heraus, dass die



Kinder, die auf relativ abstrakte Repräsentationen deuten mussten, deutlich besser abschnitten, als die Kinder, die auf die Süßigkeiten oder die Steine deuten mussten. Die Dreijährigen, denen die Tiersymbole präsentiert wurden, schnitten dabei sogar fast so gut ab wie die vierjährigen Kinder aus der ersten Untersuchung! Je mehr sich die symbolischen Repräsentationen von den ursprünglichen Reizen entfernten – das heißt, je abstrakter diese Symbole waren – umso leichter waren also die Steuerung der Aufmerksamkeit sowie die Selbstkontrolle. ***Diese Untersuchungen stützen also die Hypothese, dass sich die Fähigkeit zur Selbstkontrolle in Abhängigkeit von den Fähigkeiten zur Symbolverwendung entwickelt.***

## **5.2 Selbstkontrolle und kognitive Flexibilität**

Die Fähigkeit zur Selbstkontrolle ist für die kognitive Entwicklung auch aus dem Grund wichtig, weil sie eine Voraussetzung der kognitiven Flexibilität darstellt. Um nämlich zum Beispiel von einer Betrachtungsweise einer Sache zu einer anderen Perspektive wechseln zu können, ist es erforderlich, den Impuls zu unterdrücken, einfach die erste Betrachtungsweise beizubehalten. Vorschulkinder haben aufgrund der noch gering ausgeprägten Fähigkeit zur Selbstkontrolle im Alter von zweieinhalb bis dreieinhalb Jahren Schwierigkeiten damit, einen solchen Wechsel in der Betrachtungsperspektive durchzuführen – obwohl sie die Anleitung, einen solchen Wechsel durchzuführen, durchaus verstehen! Dieses entwicklungspezifische Defizit zeichnet sich durch einen ***Mangel an Flexibilität bei der Steuerung der Aufmerksamkeit*** aus (attentional inertia). Dies ist also ein exemplarischer Fall dafür, dass für bestimmte kognitive Fehlleistungen in erster Linie nicht konzeptuelle Defizite, sondern mangelnde Selbstkontrolle verantwortlich ist.

Um ihre kognitive Flexibilität zu untersuchen, wurden dreijährigen Kindern Tests vorgegeben, bei denen sie Karten nach unterschiedlichen Kriterien – zum Beispiel ein Mal nach der Form der abgebildeten Objekte und ein anderes Mal nach der Farbe der Karten – sortieren mussten. Die Kinder wurden auf zwei Gruppen verteilt, denen unterschiedliche Typen von Karten präsentiert wurden. Den Kindern der ersten Gruppe wurden Karten mit farbigen Objekten wie zum Beispiel einem roten Auto gezeigt. Hingegen zeigte man den Kindern der zweiten Gruppe Karten mit farbigem Hintergrund und farblosen (schwarzen) Formen wie beispielsweise einem Auto auf rotem Hintergrund. Den meisten Kindern der ersten Gruppe gelang der Wechsel der Kriterien nicht. Sie fuhrten einfach damit fort, die Karten nach dem jeweils zuerst genannten Kriterium zu sortieren. Hingegen gelang es in der zweiten Gruppe doppelt so vielen Kindern wie in der ersten Gruppe, den Wechsel bei den Klassifikationskriterien zu vollziehen.

Dieser Unterschied wird damit erklärt, dass die Unterdrückung des Impulses, bei den alten Kriterien zu bleiben, bei der zweiten Gruppe leichter fiel, weil bei dieser Gruppe Farbe und Form nicht Eigenschaften von ein und demselben abgebildeten Objekt waren, sondern stets getrennt als Eigenschaften entweder des Objekts oder des Hintergrunds vorkamen. Der Test in der zweiten Gruppe war demnach leichter als der Test in der ersten Gruppe, weil die Kinder nicht zwei verschiedene Eigenschaften *eines* Objektes separieren mussten, um die Karten nach zwei verschiedenen Kriterien sortieren zu können. Da die Kinder durchaus in der Lage sind, die Unterschiede zwischen den verschiedenen Klassifikationskriterien zu begreifen und auch verstehen, dass sie

entsprechend den Anweisungen unterschiedlichen Regeln bei der Klassifikation der Karten folgen sollen, muss diese Fehlleistung als mangelnde Selbstkontrolle bei der Steuerung der Aufmerksamkeit und der Unterdrückung von Handlungsimpulsen erklärt werden.

Diese Schwierigkeiten, die Vorschulkinder damit haben, sich unter verschiedenen Beschreibungen auf ein und dasselbe Objekt zu beziehen, manifestieren sich auch darin, dass zum Beispiel Dreijährige noch nicht in der Lage sind, Tests zu bewältigen, bei denen es darum geht anzugeben, wie ein bestimmtes Objekt aussieht und um was für ein Objekt es sich dabei tatsächlich handelt (*appearance-reality-tasks*). Den Kindern wird dabei beispielsweise ein Objekt gezeigt, das wie ein Stein aussieht, bei dem es sich aber tatsächlich um einen Schwamm handelt. Sie antworten in solchen Fällen überwiegend, dass das Objekt wie ein Stein aussieht und auch ein Stein ist oder dass es wie ein Schwamm aussieht und auch ein Schwamm ist – aber sie geben äußerst selten Antworten von der Art, dass etwas zwar wie ein Stein aussieht, es sich aber dabei tatsächlich um einen Schwamm handelt.

### **5.3 Selbstkontrolle und der Erwerb der „theory of mind“**

Der Erwerb des Wissens, dass andere Personen eigene Überzeugungen und Absichten haben, die von den Überzeugungen und Absichten, die man selber hat, verschieden sein können, stellt die Grundlage für die Fähigkeit dar, sich in andere Personen hineinzusetzen und deren Perspektive zu übernehmen. Dieses in der Psychologie als „theory of mind“ bezeichnete Wissen wird von Kindern im Allgemeinen in der Zeit zwischen dem dritten und dem fünften Lebensjahr erworben. Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen dem Erwerb der „theory of mind“ und der Entwicklung der Fähigkeit zur Selbstkontrolle. Zum Beispiel müssen die Kinder beim so genannten „*False-Belief-Test*“ (siehe Abschnitt 3.1 in diesem Kapitel) den Impuls unterdrücken, anstelle des Orts, an dem die andere Person den versteckten Ball vermutet, den tatsächlichen Ort des gesuchten Objektes zu nennen. Aufgrund dieses Zusammenhangs lassen sich die Leistungen von Vorschulkindern beim Lösen von Tests zur „theory of mind“ auf der Grundlage ihrer Fähigkeit zur Selbstkontrolle zuverlässig vorhersagen: Je ausgeprägter die Fähigkeit zur Selbstkontrolle ist, umso besser sind die Kinder beim Lösen von Aufgaben zur „theory of mind“.

Um die Bedeutung der Selbstkontrolle für den Erwerb der „theory of mind“ im Einzelnen zu klären, hat die Forschergruppe um den kanadischen Psychologen Mark A. Sabbagh die Entwicklung nordamerikanischer sowie kanadischer Vorschulkinder mit der Entwicklung chinesischer Vorschulkinder verglichen. In diesem Zusammenhang ging es vor allem um die Frage, ob das Vorliegen der Fähigkeit zur Selbstkontrolle eine notwendige oder sogar eine hinreichende Bedingung für das Verfügen über die „theory of mind“ ist. Bei der Untersuchung wurde bestätigt, dass sich anhand individueller Unterschiede in der Selbstkontrolle zuverlässig Unterschiede in der „theory of mind“ vorhersagen lassen. Zudem stellte sich heraus, *dass chinesische Vorschulkinder das Maß an Selbstkontrolle, das amerikanische und kanadische Vorschulkinder erst mit vier Jahren zeigten, bereits im Alter von dreieinhalb Jahren aufwiesen*. Dieser Vorsprung bei der Selbstkontrolle wird unter anderem damit erklärt, dass in der chinesischen Erziehung besonderer Wert darauf gelegt wird, dass die Kinder bereits früh in der Lage sind, ihre Handlungen zu kontrollieren. Interessanterweise ging dieser

Vorsprung in der Selbstkontrolle aber nicht mit einem Vorsprung beim Verfügen über die „theory of mind“ einher. Die dreieinhalb Jahre alten Kinder aus China waren in diesem Punkt den Vierjährigen aus Kanada und den USA nicht voraus. **Die Fähigkeit zur Selbstkontrolle ist folglich nur eine notwendige, aber keine hinreichende Bedingung für das Verfügen über die „theory of mind“.** Vielmehr muss noch etwas anderes hinzukommen, damit Kinder die Fähigkeit erwerben, sich in andere Personen hineinzusetzen – nämlich **die Erfahrung der sozialen Interaktion mit anderen Kindern**. Es ist mittlerweile durch viele Untersuchungen belegt, dass Kinder, die mit Geschwistern aufwachsen, die „theory of mind“ früher und schneller erwerben als Einzelkinder. Und in genau diesem Punkt besteht der entscheidende Unterschied zwischen den nordamerikanischen sowie kanadischen Vorschulkindern und den chinesischen Kindern, die von Gesetzes wegen keine Geschwister haben dürfen, und denen daher die entsprechende Erfahrung sozialer Interaktion fehlt.

## **Kapitel II: Lernen als Aneignung von Kulturtechniken: Lesen, Schreiben und Rechnen**

Gehirne wie die unsrigen gibt es seit ungefähr 40.000 Jahren. Würde man unsere frühen Vorfahren klonen und ließe sie dann unter heutigen Bedingungen aufwachsen, erhielte man tatsächlich in etwa solche Menschen wie uns. Denn all das, was wir heute für wichtig halten – Lesen, Schreiben, korrektes Sprechen und Rechnen –, ist vergleichsweise jung. Erst seit etwa 5.000 Jahren gibt es so etwas wie eine Schrift. Die Null, die überhaupt erst die Grundlage für die heutige Mathematik bildet, ist in unseren Regionen gerade mal seit 800 Jahren verbreitet. Newtons Gesetze der Mechanik oder die Analytische Geometrie sind erst seit wenigen hundert Jahren Teil des Kulturgutes und gehören doch heute ganz selbstverständlich zum schulischen Curriculum. Wenn man sich vergegenwärtigt, dass Menschen mehr als 30.000 Jahre ohne Schrift ausgekommen sind, kann man sich gut vorstellen, dass unser Gehirn für diese wichtigen Kulturtechniken nichts vorbereitet hat.

Einfaches Sprechen, Zählen, Laufen lernt man weitgehend von selbst, wie an anderer Stelle ausführlich diskutiert wurde. Lesen und Schreiben sowie mathematisches und naturwissenschaftliches Verständnis hingegen bedarf der besonderen Unterstützung. Auch wenn das kindliche Hirn noch Einschränkungen insbesondere bei der Planungsfähigkeit unterliegt und metakognitive Fähigkeiten noch nicht ausgebildet sind, können die Kleinen durchaus schon auf Manches vorbereitet werden, was später in der Schule behandelt wird. *Auch wenn es nicht das Ziel sein sollte, Vorschulkindern bereits Lesen, Schreiben und Rechnen beizubringen, so können wir mit den Kindern doch Vorläuferfähigkeiten üben, die den Erwerb von Kulturtechniken später erleichtern.* Dies kann jedoch nur dann auf effiziente Weise geschehen, wenn die in der Elementarerziehung tätigen Personen etwas darüber wissen, wie Lesen, Schreiben und Rechnen in der Grundschule gelernt werden und wo es zu Schwierigkeiten kommt, denen man bereits früh begegnen könnte.

### **1. Lesen**

Die Mehrzahl der Kinder lernt das Lesen ohne große Anstrengung – entweder bereits bevor sie zur Schule gehen oder nach einer kurzen Zeit des Unterrichts in der Schule. Dennoch gibt es Kinder, für die der Prozess des Lesenlernens schwierig und frustrierend ist. Wie kommen diese Unterschiede zustande? Woran liegt es, dass viele Kinder das Lesen leicht und eher beiläufig lernen, während es anderen Kindern so große Schwierigkeiten bereitet? Um diese Frage beantworten zu können, soll zunächst der typische Entwicklungsgang beim Lesenlernen beschrieben und anschließend darauf eingegangen werden, wann und aus welchen Gründen Kinder von diesem Entwicklungsgang abweichen können. Im Allgemeinen werden die folgenden fünf Entwicklungsstadien unterschieden:

**Stadium 0** (von der Geburt bis zum Eintritt in die erste Schulklasse): In dieser Zeit erwerben Kinder die Schlüsselvoraussetzungen für das Lesen. Dies schließt zum Beispiel die *Kenntnis des Alphabets* sowie die *phonologische Bewusstheit* ein. Dabei handelt es sich um die Fähigkeit, die einzelnen Sprachlaute zu identifizieren, aus denen sich gesprochene Wörter zusammensetzen. Schon an dieser Stelle sei gesagt, dass der

phonologischen Bewusstheit eine ganz zentrale Bedeutung zukommt. Nach allem, was wir bisher wissen, ist es DIE zentrale Vorläuferfähigkeit beim Lesenlernen, und sie kann sehr effizient im Kindergarten gefördert werden.

**Stadium 1** (erstes bis zweites Schuljahr): In diesem Zeitraum erwerben Kinder die *Fähigkeit zur phonologischen Kodierung*. Dies ist die Fähigkeit, Buchstaben in Sprachlaute zu übersetzen und diese Sprachlaute zu gesprochenen Wörtern zusammenzufügen.

**Stadium 2** (zweites bis drittes Schuljahr): Die Kinder lernen, einfache Texte flüssig zu lesen.

**Stadium 3** (viertes bis achtes Schuljahr): Die Kinder erwerben die Fähigkeit, gedruckten Texten Informationen zu entnehmen. Während die Kinder in den ersten Jahren also lernen zu lesen, lesen sie in den späteren Schuljahren, um zu lernen.

**Stadium 4** (achtes bis zwölftes Schuljahr): Jugendliche erwerben die Fähigkeit, Informationen aus Texten nicht nur aus einer Perspektive zu übernehmen, sondern mehrere Perspektiven zueinander in Beziehung zu setzen. Damit werden sie in die Lage versetzt, anspruchsvolle Literatur zu verstehen, bei der stets eine Vielzahl von Perspektiven zu berücksichtigen ist.

Diese Beschreibung der Entwicklungsstadien der Lesefähigkeit stellt den allgemeinen Rahmen dar, auf den die einzelnen Entwicklungsverläufe bei verschiedenen Personen bezogen werden müssen. Die Beschreibung verdeutlicht, dass Lesenlernen keinesfalls auf die Anfangsjahre des Schulbesuchs beschränkt ist, sondern dass man diese zentrale Kompetenz während der ganzen Schulzeit trainieren muss. Die 2001 veröffentlichten Ergebnisse der internationalen Vergleichsstudie PISA hat viele für Deutschland schockierende Ergebnisse zutage gefördert. Das vielleicht schlimmste Ergebnis aber betrifft das Leseverständnis. Mindestens 10% der 15-jährigen haben hier so große Defizite, dass sie sich selbst einfache Information nicht aus schriftlich vorliegenden Texten aneignen können. Es zeigte sich auch, dass die Lehrer dieser Schüler deren Defizite nicht einmal erkannten. Offensichtlich herrscht das Bewusstsein vor, dass Lesenlernen mit der Grundschule abgeschlossen ist. Hier muss eine Veränderung des Bewusstseins einsetzen. Es sollte selbstverständlich werden, dass das Lernen aus Texten schon in der Elementarbildung vorbereitet wird und dass diese Fähigkeit später in der Schule perfektioniert wird.

### **1.1 Voraussetzungen für das Lesenlernen**

Vorschulkinder erwerben bestimmte Grundinformationen über das Lesen einfach dadurch, dass sie Bücher betrachten und ihre Eltern dabei beobachten, wie sie ihnen aus diesen Büchern vorlesen. Dabei lernen sie zum Beispiel, dass Texte von links nach rechts gelesen werden, dass man beim Lesen nach Erreichen des rechten Endes einer Zeile zur nächsten darunter liegenden Zeile übergeht und bei dieser wieder von links beginnt und dass Wörter durch kleine Zwischenräume voneinander getrennt werden.

Die meisten Kinder - vor allem Kinder aus der Mittelschicht – lernen die Buchstaben des Alphabets bereits, bevor sie eingeschult werden. Dies gilt allerdings nicht für Minderheiten mit geringem sozialen Status und niedrigem Einkommen. Zum Beispiel kam eine in Kalifornien/USA durchgeführte Untersuchung mit fünf Jahre alten Kindern zu dem Ergebnis, dass zwar 71 Prozent der englischsprachigen Kinder, aber nur 4 Prozent der Spanisch sprechenden Kinder - die in der Regel aus Familien mit geringerem sozialen Status kommen - die Buchstaben des Alphabets korrekt benennen konnten. Die Kenntnis der Buchstaben bei Vorschulkindern korreliert zwar positiv mit ihrer Lesefähigkeit mindestens bis zur siebten Schulklasse. Es besteht aber keine kausale Beziehung zwischen beiden Fähigkeiten. Es zeigt sich nämlich keine Verbesserung der Lesefähigkeit, wenn man einer nach dem Zufallsprinzip ausgewählten Gruppe von Vorschulkindern die Buchstaben des Alphabets beibringt. Vielmehr scheint es so zu sein, dass für die Entwicklung der Lesefähigkeit in erster Linie andere Faktoren, wie zum Beispiel das Interesse der Kinder an Büchern und das Interesse der Eltern an den Lesefortschritten der Kinder, ausschlaggebend sind, indem sie sich stimulierend auf das frühe Interesse der Kinder an Buchstaben sowie auf die spätere Lesefähigkeit auswirken.

Die *phonologische Bewusstheit* hingegen ist mit der Lesefähigkeit nicht nur positiv korreliert, sondern steht auch in einem kausalen Zusammenhang mit ihr. Um die phonologische Bewusstheit für die einzelnen Sprachlaute zu messen, aus denen sich Wörter zusammensetzen, wurden Erstklässlern Fragen wie die folgenden präsentiert: „Welches sind die beiden Laute in ‚ja‘?“ und: „Sag ‚Baum‘. Nun, was wirst Du erhalten, wenn Du das ‚m‘ nicht sagst?“ Die Leistungen, die Kinder zu Beginn der ersten Klasse bei diesen einfachen Aufgaben erbringen, eignen sich sehr gut (sogar noch besser als Intelligenztests und Tests zum Sprachverstehen), um zuverlässig vorherzusagen, welche Lesefähigkeiten die Kinder am Ende der ersten Klasse haben werden. Die phonologische Bewusstheit im Vorschulalter ist zudem ein geeignetes Instrument, um die Lesefähigkeit sogar bis zur vierten Schulklasse vorherzusagen. Noch eindrucksvoller ist der Umstand, dass die Kinder aufgrund des Trainings der phonologischen Bewusstheit im Alter von vier bis fünf Jahren mindestens in den vier darauf folgenden Jahren beim Lesen deutliche Fortschritte machen.

In Deutschland hat vor allem die Arbeitsgruppe um Wolfgang Schneider an der Universität Würzburg über die positiven Auswirkungen eines Trainings der phonologischen Bewusstheit gearbeitet. Das von Petra Küspert und Wolfgang Schneider entwickelte Programm „Hören, lauschen, lernen“ kommt bereits in vielen Kindergärten zum Einsatz. In sehr gut kontrollierten Studien wurde nachgewiesen, dass das Risiko einer Lese-Rechtschreib-Schwäche in der Grundschule durch ein Training der phonologischen Bewusstheit im Kindergarten entscheidend reduziert werden kann.

Das *Hören von Kinderreimen* ist für die Entwicklung der phonologischen Bewusstheit ganz zentral. In vielen Kinderreimen wird der Beitrag einzelner Sprachlaute zu den Unterschieden zwischen verschiedenen Wörtern hervorgehoben. Viele Studien zeigen, dass das Wissen drei Jahre alter Kinder von Kinderreimen positiv mit ihrer phonologischen Bewusstheit korreliert – und zwar noch stärker als mit ihrem IQ oder mit der Ausbildung der Mutter (kurzer Exkurs: In der soziologischen Forschung hat sich gezeigt, dass die Ausbildung der Mutter die Schulleistung der Kinder besser vorhersagt als die Ausbildung des Vaters. Dafür gibt es mindestens zwei Gründe: 1) Mütter sind häufiger mit den Kindern zusammen und üben deshalb mehr Einfluss aus, und 2) es gibt

weniger gut ausgebildete Mütter als es Väter gibt, deshalb zeigen sich hier ganz besonders deutliche Unterschiede).

## 1.2 Das Erkennen von Wörtern

Die Fähigkeit, Wörter rasch und ohne Anstrengung zu identifizieren, ist nicht nur für die Lesefähigkeit entscheidend, sondern auch für den Spaß am Lesen. Ein bemerkenswertes Untersuchungsergebnis aus den USA bringt dies auf den Punkt: 40 Prozent der Viertklässler, die Schwierigkeiten mit dem Identifizieren von Wörtern hatten, sagten, sie würden eher ihr Zimmer aufräumen als lesen. Diese Schwierigkeiten verlangsamen und erschweren also nicht nur das Lesen, sondern führen außerdem dazu, dass die Kinder nicht mehr lesen, als absolut notwendig ist – was wiederum zur Folge hat, dass sich ihr Lernen in verschiedenen Bereichen verlangsamt.

Grundsätzlich können Wörter auf zwei Weisen identifiziert werden: durch *phonologisches Rekodieren* und durch *visuell gestützten Abruf*. Das phonologische Rekodieren besteht darin, dass zunächst die visuelle Form eines Wortes in Sprachlaute übersetzt wird (z.B. A, p, f, e, l) und dass diese Sprachlaute dann benutzt werden, um die Bedeutung des Wortes zu bestimmen. Der visuell gestützte Abruf hingegen verläuft so, dass direkt auf die visuelle Form eines Wortes (also Ganzworterkennung, z.B. Apfel) Bezug genommen wird, um seine Bedeutung zu bestimmen.

Bereits zu Beginn des ersten Schuljahres wählen die Kinder in Abhängigkeit von den jeweiligen Anforderungen zwischen diesen beiden Verfahren. Ihre Entscheidung treffen sie im Zuge eines *Strategiewahl-Prozesses*, bei dem sie ihre Wahl sowohl von der Geschwindigkeit als auch von der Zuverlässigkeit abhängig machen, mit der das jeweilige Verfahren zum Erfolg führt. Im Zusammenhang des Lesens bedeutet dies, dass Kinder sich bei einfachen Wörtern auf die schnellere, aber nicht immer genaue visuelle Methode verlassen, während sie bei komplizierten Wörtern der langsameren, aber genaueren Strategie des phonologischen Rekodierens den Vorzug geben. Bereits Erstklässler sind sehr gut darin, ihre Strategien der Schwierigkeit der betreffenden Wörter anzupassen.

Das Modell der Strategiewahl verdeutlicht nicht nur, zwischen welchen Verfahren sich die Kinder anhand welcher Kriterien entscheiden, sondern hilft außerdem zu klären, wie sich die Entscheidungen der Kinder über die Zeit verändern. Zwischen dem Beginn der ersten und dem Ende der zweiten Klasse geht die Mehrzahl der Kinder von der Bevorzugung des phonologischen Rekodierens zum visuell gestützten Abruf über. Dieser Wechsel in der Strategie zum Identifizieren von Wörtern hängt mit ihrer eigenen Lesetätigkeit zusammen. Das korrekte Identifizieren eines Wortes – sei es durch visuell gestützten Abruf, sei es durch phonologisches Rekodieren – versetzt die Kinder in die Lage, die visuelle Erscheinung des Wortes mit seiner Bedeutung zu assoziieren. Je stärker nämlich die Assoziation zwischen der sichtbaren Gestalt und der Bedeutung eines Wortes wird, umso wahrscheinlicher wird es auch, dass die Kinder fähig sind, auf diese Weise die Identität des betreffenden Wortes zu bestimmen. Bei relativ einfachen Wörtern (das heißt, bei Wörtern, die kurz sind, häufig vorkommen und normale Buchstaben-Sprachlaut-Beziehungen aufweisen) dominiert also bereits recht früh der visuell gestützte Abruf. Bei komplizierten Wörtern hingegen, die länger, ungewohnter und weniger regelmäßig in Bezug auf ihre Buchstaben-Sprachlaut-Beziehungen sind, bleibt das phonologische Rekodieren auch bei Erwachsenen, die perfekt lesen können, noch

dominant, weil es im Gehirn keine Verbindung zwischen dem Schriftbild und der Bedeutung des Wortes gibt.

Wie so oft bei der kognitiven Entwicklung im Kindesalter hat der Grad, in dem die Kinder die zuerst verwendete Strategie beherrschen, direkten Einfluss darauf, in welchem Umfang sie später die andere Strategie beherrschen werden. Kinder, die besser darin sind, Wörter anhand von Sprachlauten zu identifizieren, haben mehr Gelegenheiten, diese Wörter mit dem Schriftbild, also ihrer sichtbaren Form, sowie mit ihrer Bedeutung zu assoziieren. Gute Fähigkeiten zum phonologischen Rekodieren versetzen Kinder deshalb in die Lage, mit dem phonologischen Rekodieren aufzuhören und stattdessen zur anderen Strategie überzuwechseln, dem visuell gestützten Abruf. *Es ist daher nicht überraschend, dass Anleitungen zum Lesenlernen, bei denen großer Wert auf das Verfahren des phonologischen Rekodierens gelegt wird, den Kindern lernen helfen, Wörter rasch und zuverlässig zu identifizieren.*

### **1.3 Individuelle Unterschiede beim Lesenlernen**

Manche Kinder haben Schwierigkeiten mit dem Lesenlernen, obwohl sie von normaler Intelligenz sind und obwohl sie von ihren Eltern zum Lesen ermuntert werden. Die Unfähigkeit, trotz normaler Intelligenz nicht flüssig und ohne Schwierigkeiten lesen zu können, wird als *Lese-Rechtschreibschwäche* bzw. *Dyslexie* bezeichnet, und sie betrifft drei bis fünf Prozent aller Kinder. Die meisten Kinder mit Dyslexie haben Probleme beim Lesen, weil sie eine generelle Schwierigkeit mit dem Verarbeiten phonologischer Informationen haben. Diese Schwäche zeigt sich unter anderem darin, dass die Kinder einzelne Sprachlaute bzw. Phoneme nicht gut unterscheiden können, dass ihr Kurzzeit-Gedächtnis für gesprochene Sprache nur geringe Kapazitäten besitzt und dass sie die Bezeichnungen von Objekten nur sehr langsam erinnern. Kinder mit Dyslexie haben ebenfalls sehr große Probleme, die mit den verschiedenen Silben verbundenen Sprachlaute zu bestimmen. Aufgrund dieser gering ausgebildeten Fähigkeit zum Umgang mit phonologischen Eindrücken haben Kinder mit Dyslexie Schwierigkeiten, die Buchstaben-Sprachlaut-Beziehungen zu erlernen, auf die sich das phonologische Rekodieren stützt. Fordert man zum Beispiel Kinder mit Dyslexie auf, pseudo-Wörter wie „parding“ zu lesen, dann zeigt sich, dass 13 bis 14 Jahre alte Jugendliche lediglich die gleichen Leistungen zeigen, die normalerweise bereits von sieben bis acht Jahre alten Kindern erbracht werden.

Wie angesichts des oben dargestellten Modells der Strategie-Wahl zu erwarten ist, ist diese Schwierigkeit mit dem Verarbeiten phonologischer Informationen die Ursache dafür, dass Kinder mit Dyslexie sowohl schwache Leistungen beim visuell gestützten Abruf als auch beim phonologischen Rekodieren haben. Dieses Problem kann beständig sein: Oft sind die Leseleistungen von Personen, die bereits in der Grundschule Schwierigkeiten mit dem Verarbeiten phonologischer Information hatten, auch im Erwachsenenalter noch schlecht.

Untersuchungen des Gehirns stützen die Annahme, dass die Dyslexie ihre Wurzel in Problemen mit der Verarbeitung phonologischer Information hat. Postmortem Untersuchungen dyslexischer Gehirne ergaben Mißbildungen in neocortikalen Bereichen, z.B. abnorme links-rechts Asymmetrien der temporalen Sprachregionen (Wernicke Region). Darüber hinaus fielen signifikante Unterschiede der Zellgrößen im Thalamus auf, der sensorischen Schaltstation, über die alle Sinneseingänge in den Cortex laufen.



Diese anatomischen Befunde haben zu der Hypothese geführt, daß selektiv die Neurone in den magnozellularen Regionen des Thalamus bei Dyslexikern abnorme Übertragungseigenschaften besitzen, und damit die thalamo-cortikale Verarbeitung sensorischer Information gestört ist. Da die großen (magnozellige Teile des Thalamus) Neurone sensorische Informationen vermutlich schneller übertragen als die kleinen (parvozellige Anteile des Thalamus) Neurone, könnten diese neuroanatomischen Befunde als hirnbioologisches Substrat für das für viele Dyslexiker typische Defizit in der dynamischen Verarbeitung (verminderte Auflösung zeitlich-dynamischer Reize) von sensorischen Reizen betrachtet werden. Diese funktionelle Interpretation wird auch gestützt durch Befunde aus Neuroimaging Studien zur mikrostrukturellen Integrität der weißen Substanz (besteht zum überwiegenden Teil aus myelinisierten Axonen), die sowohl bei normalen Lesern, als auch bei Dyslexikern, ergaben, daß die Anisotropie der weißen Substanz in der temporo-parietalen Region der linken Hemisphäre signifikant mit den Lesefähigkeiten korreliert. Die meßbare Anisotropie der weißen Substanz ist eine Funktion der Anzahl und/oder des Durchmessers der myelinisierten Axone, und/oder der Menge und Zusammensetzung des die Axone umhüllenden Myelins. Wie bereits an anderer Stelle ausgeführt, sind gerade die myelinisierten Axone durch schnelle Übertragungseigenschaften charakterisiert d.h. für schnelle, feinmodulierte und dynamische Signale wie sie z.B. für Sprachlaute typisch sind. Daß gerade auch gestörte auditorische Funktionen bei Dyslexikern prägnant sind, bestätigen die neueren kernspintomographischen Untersuchungen von Paula Tallal und Mitarbeitern, die zeigen, daß Kinder mit Dyslexie verminderte Aktivitäten in den Sprachzentren der linken temporo-parietalen Region aufweisen, während sie Sprache verarbeiten. Darüber hinaus zeigte sich daß bei lesenden Dyslexikern zwei distinkte Hirnareale deutlich weniger aktiv sind als die entsprechenden Hirnareale bei Personen ohne Dyslexie. Eines dieser Hirnareale ist direkt für die Verarbeitung phonologischer Reize verantwortlich, das andere beteiligte Hirnareal hat die Funktion, visuelle und auditive Eindrücke (in diesem Fall die sichtbare Form der Wörter und die entsprechenden Sprachlaute) zusammenzuführen.

Wie kann man Kindern mit Dyslexie helfen? Da diese Kinder Schwierigkeiten mit phonologischen Informationen haben, liegt der Gedanke nahe, dass sie mit einem Ansatz, der weniger Gewicht auf Buchstabe-Sprachlaut-Beziehungen legt und statt dessen den visuell gestützten Abruf in den Vordergrund stellt, besser lernen würden. Diese Methode hat sich aber als nicht sonderlich erfolgreich erwiesen. Es gibt einfach keinen Ersatz für die Fähigkeit, Wörter anhand von Sprachlauten zu identifizieren. Den besten Erfolg erzielt man hingegen damit, Kindern mit Dyslexie Strategien beizubringen, die ihr phonologisches Rekodieren verbessern. Wirkungsvolle Strategien bestehen zum Beispiel darin, Analogien zwischen ähnlich klingenden Wörtern herzustellen, alternative Aussprachen der Konsonanten auszuprobieren (wenn die erste Aussprache kein sinnvolles Wort ergibt) und bei langen Wörtern die Präfixe und Suffixe vorerst wegzulassen und dann zu versuchen, ob sich das Wort identifizieren lässt. Diese Strategien führen bei Kindern mit Dyslexie zu deutlichen Verbesserungen der Lesefähigkeit. Die Arbeitsgruppen von Tallal und Merzenich konnten anhand von kernspintomographischen Untersuchungen zeigen, daß Kinder, die mit dem von ihnen entwickelten Computerprogramm „FastForWord“ trainierten, tatsächlich verbesserte Aktivitäten in den Sprachzentren aufwiesen. Inwieweit dieser Effekt von Dauer ist, d.h.

einer tatsächlichen synaptischen Um- oder Neuverdrahtung der cortikalen Netzwerke bzw. der funktionellen cortikalen „Karten“ entspricht, muß in weiterführenden Untersuchungen überprüft werden.

Da es sich bei der Dyslexie um eine Entwicklungsstörung bestimmter auditorischer, visueller und sprachrelevanter Hirnareale handelt, ist es aus hirnbioologischer Sicht essentiell, diese Lernstörung frühestmöglich zu erkennen und zu therapieren. Die auditorischen und die damit eng vernetzten Sprachzentren, ebenso wie die visuellen Bahnen (v.a. die oben erwähnten thalamo-cortikalen Bahnen!) entwickeln sich in den ersten Lebensjahren, d.h. lange bevor Dyslexie in unserem Erziehungssystem erkennbar wird. Hier besteht Bedarf an einer Früherkennung, die z.B. im Rahmen der Kindergartenerziehung (möglichst jedoch noch früher) erfolgen sollte. *Nur wenn die Förderung innerhalb der kritischen Entwicklungszeitfenster erfolgt, in denen sich die synaptischen Verschaltungen der beteiligten Gehirnzentren etablieren und sich über Erfahrung und Training optimieren können, werden solche Hirnentwicklungsstörungen effizient, d.h. in Form von dauerhaften hirnbioologischen „Korrekturen“ therapiert werden können.*

#### **1.4 Das Verstehen von Texten**

Das Lesen einzelner Wörter wird Kindern beigebracht, damit sie schließlich in der Lage sind, längere Texte zu lesen und zu verstehen, in denen diese Wörter vorkommen. Das Verstehen des gelesenen Textes erfordert, dass man ein *geistiges Modell* der dargestellten Situation bildet und dieses Modell unter Berücksichtigung der neu hinzukommenden Informationen ständig erweitert. Für die Entwicklung der Fähigkeit, gelesene Texte zu verstehen, sind alle kognitiven Faktoren von Bedeutung, die auch sonst für die geistige Entwicklung entscheidend sind – grundlegende Wahrnehmungsprozesse, Strategien der Information, Metakognition (Wissen von den eigenen geistigen Zuständen) und inhaltliches Wissen.

Grundlegende kognitive Prozesse und Fähigkeiten wie das *Identifizieren von Schlüsselmerkmalen* von Objekten oder Ereignissen sowie die *Automatisierung* (das Ausführen eines Prozesses unter Inanspruchnahme minimaler kognitiver Ressourcen) sind für das Textverstehen zentral. Der Grund dafür ist einfach: Kinder, die in der Lage sind, die Schlüsselmerkmale von Wörtern mit minimalem Aufwand an kognitiven Mitteln zu identifizieren, verfügen einfach über mehr kognitive Kapazitäten für das Verstehen von Texten. Schnelle und genaue Worterkennung korreliert daher in allen Altersstufen positiv mit dem Verstehen des Gelesenen – von der ersten Klasse bis zum Erwachsenenalter.

Die Entwicklung der Fähigkeit zum Textverstehen wird ebenfalls durch den Erwerb verschiedener Strategien unterstützt. Beispielsweise zeichnen sich gute Leser dadurch aus, dass sie langsam und sorgfältig lesen, wenn sie die gelesenen Inhalte tatsächlich beherrschen müssen, und deutlich schneller lesen, wenn es lediglich darum geht, die generelle Idee eines Textes zu erfassen. Allerdings entwickelt sich die Fähigkeit, solche Entscheidungen zu fällen, vergleichsweise spät. Selbst wenn man zehn Jahre alten Kindern mitteilt, dass einige Textabschnitte besonders wichtig sind und andere nicht, neigen sie dennoch dazu, alle Abschnitte mit nahezu gleicher Geschwindigkeit zu lesen. Vierzehn Jahre alte Jugendliche hingegen sind bereits in der

Lage, unwesentliche Textabschnitte zu überfliegen und sich auf die wichtigen Abschnitte zu konzentrieren.

Die *Entwicklung der Metakognition* trägt ebenfalls zur Verbesserung des Textverstehens bei. Mit zunehmendem Alter und Erfahrung reflektieren die Leser zusehends ihr eigenes Verständnis des Gelesenen und lesen solche Passagen erneut, die sie noch nicht ausreichend verstanden haben. Diese Art der *Kontrolle des eigenen Textverstehens* unterscheidet gute Leser von schlechten Lesern durch alle Altersgruppen hindurch – von der ersten Klasse bis zum Erwachsenenalter. Unterrichtsansätze, die sich auf diese Kontrolle des eigenen Textverstehens stützen, haben sich als nützlich erwiesen.

Den größten Einfluss auf das Textverstehen hat aber das inhaltliche Vorwissen. Die Zunahme des Inhaltswissens hat zur Folge, dass immer mehr kognitive Ressourcen eingesetzt werden können, um sich in einem Text auf das zu konzentrieren, was neu oder kompliziert ist. Dieses Wissen erlaubt es den Lesern auch, Schlüsse in Bezug auf diejenigen Informationen zu ziehen, die im Text nicht ausdrücklich erwähnt werden. Liest man beispielsweise die Schlagzeile: „Die Löwen schlagen Leverkusen“, dann weiß der informierte Leser, dass es dabei um Fußball geht. Wie hingegen uninformierte Leser diese Schlagzeile interpretieren würden, ist eher unklar.

Das Textverstehen von Kindern hängt auch von ihrem Lesepensum ab, das bei verschiedenen Kindern recht unterschiedlich ausfallen kann. Zum Beispiel haben Untersuchungen gezeigt, dass Kinder, deren Ergebnisse bei Tests zum Textverstehen im Bereich von 90 Prozent und darüber lagen, 200-mal so viel lesen wie ihre Altersgenossen, deren Testergebnisse im Bereich von 10 Prozent lagen. Gute Fähigkeiten zum Lesen bringen Kinder dazu, mehr zu lesen, und Kinder, die mehr lesen, zeigen wiederum bessere Entwicklungsfortschritte beim Textverstehen als Kinder mit gleicher Lesefähigkeit, die weniger lesen.

Auch das Textverstehen der Eltern hat Einfluss auf das Textverstehen der Kinder. Vorschulkinder, die von ihren Eltern regelmäßig Geschichten erzählt und vorgelesen bekommen, lernen, wie solche Geschichten im allgemeinen aufgebaut sind, und dies hilft ihnen, neue Geschichten zu verstehen, wenn sie selber zu lesen beginnen. Unterschiede im Textverstehen von Kindern aus Familien mit niedrigem und mittlerem Einkommen kommen zum Teil dadurch zustande, dass ihnen von ihren Eltern im Vorschulalter unterschiedlich viel vorgelesen wird. Eine Untersuchung in Israel hat zum Beispiel gezeigt, dass in einer Schule, auf die überwiegend Kinder aus der Mittelschicht gehen, die zudem gute Leistungen beim Textverstehen zeigten, 96 Prozent der Eltern ihren Kindern im Vorschulalter täglich Geschichten vorlesen. Hingegen bekamen Kinder aus Familien mit niedrigem Einkommen, die deren Leistungen beim Textverstehen gering waren, im Vorschulalter deutlich weniger Geschichten vorgelesen. Hier nämlich lasen nur 15 Prozent der Eltern ihren Kindern täglich Geschichten vor.

Eine direkte Folgerung aus diesen Ergebnissen ist, dass auch Vorschulkinder aus ärmeren Familien ein deutlich besseres Textverständnis entwickeln würden, wenn man ihnen täglich etwas vorlesen würde. Diese Schlussfolgerung wird zudem durch eine ganze Reihe weiterer Untersuchungen gestützt. Eine Studie in Mexiko zeigte beispielsweise, dass sich das Vokabular und die Sprachfähigkeit von zweijährigen Kindern im Vergleich zu einer Kontrollgruppe stark verbesserte, nachdem ihnen sechs Wochen lang täglich von Studenten Geschichten vorgelesen wurden. Ähnliche Effekte zeigten sich auch, wenn man die Eltern und Lehrer aufforderte, den Kindern regelmäßig

Geschichten vorzulesen und ihr Verständnis zu fördern, indem sie sie zum Beispiel aufforderten, die Motive und die Charaktere der in den Geschichten vorkommenden Personen zu erklären.

Ziel der Elementarerziehung sollte es also nicht sein, bereits kleinen Kindern das Lesen beizubringen. Stattdessen sollten zwei andere Ziele im Mittelpunkt stehen: Erstens sollte die phonologische Bewusstheit als *die* zentrale Vorläuferfähigkeit des Lesens spielerisch geübt werden. Zweitens sollte man durch Vorlesen und das gemeinsame Anschauen von Büchern die Liebe zum Lesen wecken. Kinder sollten sich darauf freuen, die spannenden Geschichten, die ihnen vorgelesen werden, bald selbst lesen zu können.

## 2. Schreiben

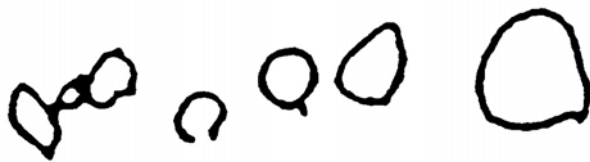
### 2.1 Voraussetzungen für das Schreibenlernen

Darüber, wie Kinder schreiben lernen, ist viel weniger bekannt als über das Lesenlernen. Aber was wir darüber wissen, verweist auf interessante Parallelen zwischen beiden Kompetenzen. Die Entwicklung der Fähigkeit zum Schreiben beginnt ebenso wie die Entwicklung der Fähigkeit zum Lesen bereits im Vorschulalter. Die britische Entwicklungspsychologin Annette Karmiloff-Smith hat zweijährige Kinder gebeten, entweder einen Hund zu malen oder das Wort „Hund“ zu schreiben. Wie nicht anders zu erwarten, entsprach die Ausführung der Kinder noch nicht unseren Standards, wie die folgende Abbildung zeigt:



Abbildung II.1: Wenn Dreijährige einen Hund malen (oben) oder „Hund“ schreiben.

Auch wenn Kinder weder schreiben noch malen können, wissen sie doch bereits, dass beides unterschiedlich auszusehen hat. In der folgenden Abbildung, die das Ergebnis einer Untersuchung mit drei Jahre alten Kindern ist, kommt ebenfalls rudimentäres Wissen über die Schrift zum Vorschein. Es handelt sich um eine typische „Einkaufsliste“. Die einzelnen Zeichen stimmen zwar nicht mit den Buchstaben des Alphabets überein, aber sie sehen ungefähr wie Buchstaben aus, und sie sind bereits auf einer horizontalen Linie angeordnet. Diese Abbildung veranschaulicht auch, dass die Kinder bereits verstehen, dass jedes Wort durch ein eigenes Symbol dargestellt wird.



## Abbildung II.2: Schon Dreijährige trennen „Wörter“

Wie solchen Schreibversuche von Vorschulkindern zu entnehmen ist, verstehen sie bereits, dass sich Bedeutungen durch Schriftzeichen ausdrücken lassen. Außerdem verwenden sie mehr Zeichen, um Wörter darzustellen, die sich auf eine ganze Reihe von Objekten beziehen, wie zum Beispiel „Wald“, als wenn sie Wörter darstellen, die sich nur auf einzelne Objekte beziehen, wie zum Beispiel „Baum“. Und fordert man sie auf zu erraten, welche Wörter ein Objekt bezeichnen, dann wählen sie für größere Objekte stets längere Bezeichnungen. Für das Wort „Zug“ würden die Kinder also länger „schreiben“ als für das Wort „Mäuseschwanz“. Obwohl unsere Schriftsprache nicht diesen Regeln folgt, spiegeln sie dennoch keine unvernünftigen Annahmen über die Beziehungen zwischen Schriftzeichen und den von ihnen repräsentierten Gegenständen wider. Aber natürlich müssen die Kinder in dieser Hinsicht umlernen. Ellen Bialystok, eine sehr bekannt gewordene Wissenschaftlerin zum Zweitspracherwerb, konnte zeigen, dass Kinder, die bilingual, also zweisprachig aufwachsen, bereits früher wissen, dass es keinen Zusammenhang zwischen der inhaltlichen Bedeutung eines Wortes und dessen Schriftbild gibt.

### **2.2 Das Verfassen von Texten**

Schreibenlernen in dem Sinne, dass man lernt, Texte zu verfassen, ist beträchtlich schwieriger als Lesenlernen. Dies ist nicht überraschend, denn das Schreibenlernen erfordert, dass man sich gleichzeitig auf eine ganze Reihe von unterschiedlich anspruchsvollen Zielen konzentriert. Die weniger anspruchsvollen Ziele betreffen das korrekte Schreiben der einzelnen Buchstaben, das richtige Kombinieren von Buchstaben zu Wörtern sowie die korrekte Anwendung der Groß- und Kleinschreibung und der Regeln für die Zeichensetzung. Die eher anspruchsvollen Ziele umfassen das überzeugende Darstellen von Überlegungen, die Anordnung einzelner Punkte in einem kohärenten Rahmen sowie die Bereitstellung von Hintergrundinformationen, die der Leser zum Verständnis des Textes benötigt.

Ebenso wie die Entwicklung des Textverstehens geht auch die Entwicklung der Fähigkeit zu schreiben mit Verbesserungen von Grundfähigkeiten, Strategien, Metakognition und Inhaltswissen einher. Die Automatisierung von Grundfähigkeiten wie der Fähigkeit zum Schreiben von Buchstaben und der Fähigkeit zur Anwendung grammatischer Regeln erleichtert das Schreiben vor allem deswegen, weil dadurch kognitive Kapazitäten frei werden, die für anspruchsvollere Ziele eingesetzt werden können. Aus diesem Grund korreliert die Beherrschung dieser automatisierten Grundfähigkeiten positiv mit der Qualität der Aufsätze der Kinder

Auch der Erwerb bestimmter Strategien erleichtert Kindern das Schreiben. Eine gängige Strategie beim Schreiben besteht darin, die anspruchsvollen Anforderungen in einer Reihenfolge zu organisieren, die wiederholt angewendet werden kann. Harriet Waters, eine Psychologin, deren Mutter alle ihre Schriftstücke aufbewahrt hatte, verwendete eine solche Strategie beim Verfassen ihrer Berichte darüber, was in der Schule an dem jeweiligen Tag passiert war. Wie in der folgenden Darstellung zu sehen ist, beginnt jeder Bericht mit dem Datum, dann wird das Wetter beschrieben und anschließend wird auf die Ereignisse in der Schule eingegangen – eine Strategie, die ihre Aufgabe deutlich vereinfacht hat.

Aufsätze, die zu Beginn, in der Mitte und am Ende des Schuljahrs geschrieben wurden

24. September, 1956:

Heute ist Montag, der 24. September 1956. Heute regnet es. Wir hoffen, dass bald die Sonne wieder scheint. Wir haben Lesebücher bekommen. Es wurden Fotos von uns gemacht. Wir haben für Barbara ein Geburtstagslied gesungen.

22. Januar, 1957:

Heute ist Dienstag, der 22. Januar 1957. Heute ist es neblig. Wir mussten beim Überqueren der Strasse aufpassen. Heute morgen hatten wir Musikunterricht. Wir haben ein neues Lied gelernt. Linda fehlt. Wir hoffen, dass sie bald wieder zurück kommt. Wir hatten Matheunterricht. Wir mussten uns vorstellen, Süßigkeiten zu kaufen. Wir hatten viel Spaß.

27. Mai, 1957:

Heute ist Montag, der 27. Mai 1957. Heute ist es warm und wolkig. Wir hoffen, dass nachher die Sonne scheint. Heute Nachmittag hatten wir Musikunterricht. Das hat Spaß gemacht. Karina fehlt. Wir hoffen, dass sie bald wieder da ist. Heute haben wir ein Dutzend neuer Wörter gelernt.

Für ältere Kinder erfüllt das Verfassen einer Stichwortliste oder Argumentationsskizze dieselbe Funktion, die Aufgabe in eine Reihe von Schritten aufzuteilen, die sich bewältigen lassen: Erst muss man sich Gedanken darüber machen, *was* man sagen will; anschließend muss man überlegen, *wie* man es sagen will.

Auch **Metakognition** spielt eine wichtige Rolle für die Fähigkeit, Texte zu verfassen. Der wichtigste metakognitive Aspekt besteht sicherlich darin, sich zu vergegenwärtigen, dass die potentiellen Leser eines Textes, den man gerade verfasst, nicht zwangsläufig über die gleiche Informationen verfügen wie man selber und dass man aus diesem Grund alle für das Textverständnis erforderlichen Informationen im Text ausdrücklich erwähnen sollte. Personen mit einer guten Befähigung zum Schreiben weisen dieses Verständnis in der Oberstufe auf. Personen mit schlechten Schreibfähigkeiten hingegen fehlt es. Ein weiterer wichtiger metakognitiver Aspekt betrifft die Einsicht, dass man das Schreiben eines Textes planen und vorbereiten muss und nicht einfach unvorbereitet zu schreiben anfangen kann. Personen mit guten Fähigkeiten zum Verfassen von Texten investieren weitaus mehr Zeit in die Planung und Vorbereitung dessen, was sie im Einzelnen mitteilen wollen, als Personen mit geringen Fähigkeiten zum Schreiben von Texten. Ein zusätzlicher metakognitiver Aspekt besteht darin einzusehen, dass Textentwürfe sorgfältig redigiert werden müssen. Auch wenn Personen mit guter Befähigung zum Schreiben weitaus bessere Textentwürfe produzieren als Personen mit geringer Befähigung, so investieren sie dennoch weitaus mehr Zeit in die Revision ihrer Texte als diese.

***Unterricht, der auf die Verbesserung dieser metakognitiven Einsichten abzielt, kann die Befähigung zum Verfassen von Texten deutlich verbessern.*** Insbesondere die Leistungen von Kindern zwischen dem dritten und sechsten Schuljahr lassen sich steigern, wenn man sie anleitet, sich selber regelmäßig die folgenden Fragen zu stellen: Wer ist die zentrale Figur in dieser Geschichte? Was tut diese Figur? Wie interagiert sie mit anderen Figuren in der Geschichte? Was passiert am Ende der Geschichte? Wenn man die Kinder ermuntert, sich auf diese Fragen zu konzentrieren, dann produzieren sie deutlich bessere Textentwürfe. Und wenn man sie weiter ermuntert, ihre eigenen

Entwürfe danach zu beurteilen, wie gut sie diese Fragen behandeln, dann führt dies wiederum zu verbesserten Revisionen ihrer Texte. Ebenso wie beim Lesen spielt auch beim Schreiben das Inhaltswissen eine große Rolle. Denn Menschen produzieren im Allgemeinen bessere Texte über ein vertrautes Thema als über ein unbekanntes.

Natürlich sollen Kinder im Kindergarten noch nicht schreiben lernen. Dass diese Kompetenz dennoch an dieser Stelle so ausgiebig behandelt wurde, hat seine Gründe. Es sollte deutlich werden, dass Schreiben nicht einfach eine Technik oder ein Handwerk ist, das man losgelöst vom Inhalt lernen kann. Sich schriftlich verständlich machen können, bedeutet vor allen Dingen, sich in die Leser hineinversetzen zu können. Welches Wissen kann man beim Leser voraussetzen? Wo muss man ausführlicher werden, damit es nicht zu Missverständnissen kommt? Wie kann man durch eine geordnete Struktur das Verstehen des Textes erleichtern? Auch im mündlichen Gespräch sollte man natürlich alle diese Dinge beachten. Aber hier ergeben sich immer Gelegenheiten zum Nachfragen und zur direkten Klärung von Missverständnissen. Unverständlich geschriebene Texte hingegen stellen für alle Beteiligten ein Ärgernis dar. *Wenn man bereits mit kleinen Kindern Gesprächstechniken praktiziert, bei denen das Verstehen des Anderen im Mittelpunkt steht, lernen sie es, sich auf die Erwartungen anderer einzustellen – eine wichtige Voraussetzung für kompetentes Schreiben.* Im Alltag bieten sich unzählige Möglichkeiten, Kinder etwas erklären zu lassen, z.B. wie man seine Jacke anzieht oder wie man eine Milchtüte öffnet. Dabei können Kinder die Erfahrung machen, dass sie diese Dinge einem jüngeren Kind anders erklären müssen als einem gleichaltrigen Kind oder der Erzieherin. Das für das Schreiben so zentrale Einstellen auf den Leser kann also bereits früh geübt werden. Viele Jahre später, wenn die Kinder eigene Texte produzieren sollen, können sie dann auf diese früh erworbenen Kompetenzen zurückgreifen.

### 3. Rechnen

Wie bereits im ersten Kapitel dargestellt wurde, haben Kinder schon im ersten Lebensjahr ein rudimentäres Verständnis für Zahlen, das sich allerdings noch auf Mengen von 1, 2 und 3 Objekten beschränkt. Im Alter von drei bis vier Jahren ergänzen sie dieses Verständnis durch die Fähigkeit zu zählen sowie durch das Wissen von den Größenverhältnissen zwischen einstelligen Zahlen. Diese sich früh entwickelnden Kompetenzen stellen die Grundlage dar, auf der die Kinder rechnen lernen und weitere mathematische Fähigkeiten entwickeln.

#### 3.1 Arithmetik

Eines der auffälligsten Merkmale des kindlichen Mathematikverständnisses besteht in der Vielzahl der Strategien, die sie zur Lösung von Problemen anwenden. Im Alter von vier bis fünf Jahren erwerben die meisten Kinder ihre erste mathematische Strategie, die darin besteht, Additionsaufgaben durch Abzählen zu lösen (das heißt, sie lösen zum Beispiel die Aufgabe „Was ergibt  $2 + 2$ ?“, indem sie an jeder Hand zwei Finger heben und diese dann abzählen: „1, 2, 3, 4“). Im Anschluss an diese *Abzähl-Strategie* gehen sie rasch dazu über, die *Abruf-Strategie* zu benutzen, bei der sie bei einfachen und häufig vorkommenden Aufgaben wie zum Beispiel „ $2 + 2$ “ die Ergebnisse lediglich aus dem Gedächtnis abrufen. Eine sehr häufige Strategie besteht auch darin, von der höheren Zahl aus, zu der eine andere Zahl addiert werden soll, einfach weiterzuzählen. Sollen die Kinder also zum Beispiel die Aufgabe „ $3 + 9$ “ lösen, dann zählen sie „9, 10, 11, 12“. Eine

weitere Strategie besteht in der *Zerlegung eines Problems* in leichtere Teilprobleme. Bei der Aufgabe „ $3 + 9$ “ bedeutet dies, dass die Kinder zunächst „ $3 + 10 = 13$ “ und anschließend „ $13 - 1 = 12$ “ rechnen. Eine ähnliche Anwendung unterschiedlicher Strategien findet sich auch bei anderen Aufgabentypen. Um zum Beispiel ein Multiplikationsproblem wie „ $3 \times 4$ “ zu lösen, schreiben Kinder manchmal drei Vieren auf und addieren sie anschließend, oder sie machen drei Bündel von jeweils vier Strichen und zählen sie dann, oder sie rufen die Lösung dieses Problems einfach aus dem Gedächtnis ab.

Ebenso wie bei ihren Entscheidungen zwischen verschiedenen Strategien zur Identifikation von Wörtern richten sich Kinder auch bei ihren Entscheidungen zwischen verschiedenen Strategien zur Lösung von Rechenaufgaben in hohem Grade nach den jeweiligen Erfordernissen. Bereits vier Jahre alte Kinder differenzieren recht aufmerksam zwischen den verschiedenen Bedingungen, unter denen sie unterschiedliche Strategien anwenden. So lösen sie leichtere Aufgaben meist dadurch, dass sie die Ergebnisse einfach aus dem Gedächtnis abrufen. Bei komplexeren Aufgaben hingegen folgen sie der langsameren, aber in diesem Fall zuverlässigeren Strategie, die Lösungen durch Abzählen zu ermitteln.

Je mehr Kompetenzen Kinder im Umgang mit Rechenproblemen erwerben, umso mehr tendieren sie dazu, sich auf die Strategie des Abrufs von Lösungen aus dem Gedächtnis zu verlassen. Der Lernprozess verläuft also in diesem Bereich ganz ähnlich wie im Bereich des Lesenlernens, wo die Tendenz zum visuell gestützten Abruf geht. Je häufiger die Kinder die richtige Antwort auf ein bestimmtes Problem geben können (unabhängig von der Strategie, durch die sie zu dieser Antwort gekommen sind), umso besser sind sie in der Lage, diese Aufgabe durch Abruf des Ergebnisses aus dem Gedächtnis zu lösen, und sie umgehen auf diese Weise langsamere Strategien wie das Abzählen.

### **3.2 Individuelle Unterschiede beim Erwerb mathematischer Fähigkeiten**

Ebenso wie beim Lesenlernen zeigen Kinder auch beim Erwerb mathematischer Fähigkeiten große individuelle Unterschiede. Diese Unterschiede beziehen sich sowohl auf die Lerngeschwindigkeit als auch auf die Art und Weise, wie die Kinder lernen. Grundsätzlich lassen sich die folgenden drei Typen unterscheiden: gute Schüler, weniger gute Schüler, Perfektionisten. Gute Schüler geben schnelle und genaue Antworten, wobei sie die meisten Lösungen aus dem Gedächtnis abrufen. Weniger gute Schüler antworten langsamer und weniger genau und rufen nur wenige Lösungen aus dem Gedächtnis ab. Perfektionisten geben ebenso wie gute Schüler schnelle und genaue Antworten, aber sie unterscheiden sich von ihnen dadurch, dass sie die Gedächtnis-Strategie nur selten anwenden und sich nur in solchen Fällen auf sie verlassen, in denen sie völlig sicher sind. Sind sie sich nicht zu 100 Prozent sicher, dass sie sich an die richtige Lösung erinnern, verwenden sie daher andere Strategien. Diese drei Gruppen lassen sich bei Familien mit niedrigem Einkommen ebenso feststellen wie bei Familien mit mittlerem Einkommen – und zwar nicht nur beim Lösen von Rechenproblemen, sondern auch im Hinblick auf Strategien zur Identifikation von Wörtern. Diesen individuellen Unterschieden in der Strategiewahl liegen einerseits Wissensunterschiede zugrunde (gute Schüler und Perfektionisten können mehr Antworten aus dem Gedächtnis abrufen als weniger gute Schüler), andererseits Unterschiede in den Kriterien, anhand derer entschieden wird,



wann es angemessen ist, Antworten aus dem Gedächtnis abzurufen (Perfektionisten müssen sich zum Beispiel sicherer fühlen als gute oder weniger gute Schüler).

Das Verstehen von Rechenaufgaben erfordert mehr als nur ein gutes Gedächtnis für die richtigen Antworten sowie einige Problemlösungsstrategien. Es erfordert nämlich zusätzlich das Verstehen der zugrunde liegenden Konzepte und Prinzipien. Unglücklicherweise erlernen viele Kinder effiziente Strategien zur Problemlösung ohne zu verstehen, warum diese Strategien angemessen sind. Diese Art des oberflächlichen Beherrschens von Strategien führt zu Problemen, wenn die Kinder mit neuartigen Aufgaben konfrontiert sind, für deren Lösung sie diese Strategien verändern müssen.

Ein gutes Beispiel für diese Art Problem ist das **Verständnis des mathematischen Konzepts der Gleichheit** – das heißt, der Idee, dass die Verrechnung der Zahlenwerte auf beiden Seiten des Gleichheitszeichens die gleichen Werte ergeben muss. In der überwiegenden Anzahl der Fälle, in denen Kinder dem Gleichheitszeichen begegnen, befinden sich nur auf der linken Seite Zahlen – wie zum Beispiel in den folgenden Fällen:  $3 + 4 = \underline{\quad}$ ,  $3 + 4 + 5 = \underline{\quad}$ . Um solche Aufgaben zu lösen, kann das Gleichheitszeichen also als ein Signal interpretiert werden, mit dem Addieren zu beginnen. Im weiteren Verlauf des Mathematikunterrichts werden Kinder aber auch mit Gleichungen konfrontiert, bei denen Zahlen auf beiden Seiten des Gleichheitszeichens stehen, wie zum Beispiel in dem folgenden Fall:  $3 + 4 + 5 = \underline{\quad} + 5$ . In verschiedenen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass Kinder bis zur vierten Klasse solche Aufgaben überwiegend falsch lösen. Der gängigste Fehler besteht dabei darin, alle Zahlen, die auf der linken Seite stehen, einfach zu addieren und das Ergebnis in das freie Feld einzutragen, was in dem vorliegenden Fall zu dem falschen Ergebnis „12“ führen würde. Kinder, die diesen Fehler machen, übertragen also eine Strategie, die bisher zum Erfolg geführt hat, auf Fälle, auf die sie nicht anwendbar ist. Wie aus diesem Fehler zu schließen ist, fehlt den Kindern noch das Verständnis, dass auf beiden Seiten des Gleichheitszeichens die gleichen Zahlenwerte stehen müssen.

Allerdings verstehen manche Kinder, die diesen Fehler machen, möglicherweise schon mehr, als an ihren Lösungen zunächst abzulesen ist. Zum Beispiel lösen die Kinder die Aufgabe „ $3 + 4 + 5 = \underline{\quad} + 5$ “ zwar fälschlich mit „12“. Fragt man sie aber, wie sie diese Aufgabe gelöst haben, dann zeigen sie auf alle vier Zahlen – und nicht nur auf die Zahlen links vom Gleichheitszeichen. Wie diesem Zeigen zu entnehmen ist, wissen sie also implizit bereits, dass auch die vierte Zahl berücksichtigt werden muss, obwohl sie diese Zahl weder in ihrem Ergebnis von „12“ noch bei ihren verbalen Erklärungen berücksichtigen. Kinder, bei denen anfänglich diese **Nichtübereinstimmung ihrer Beschreibungen mit ihren Gesten** auftritt, lernen mehr von weiteren Anleitungen zum Lösen solcher Aufgaben als Kinder der gleichen Altersgruppe, bei denen diese Nichtübereinstimmung nicht besteht (Kinder also, die in diesem Fall „12“ sagen und auf die drei Zahlen links vom Gleichheitszeichen zeigen). Entsprechend gilt, dass Kinder, deren Erklärungen bei Vortests zunächst vage und unzutreffend ausfallen, von weiteren Hinweisen mehr profitieren als Kinder, deren Erklärungen eindeutig und unzutreffend sind. Diese Ergebnisse sprechen für die folgende Behauptung: Die Zunahme der Variabilität des Denkens und Handelns – abzulesen zum Beispiel an der Divergenz von Gesten und von abgegebenen Erklärungen – weist oft auf eine erhöhte Bereitschaft zum Lernen hin.

**Mathematische Leistungen variieren ebenso wie viele andere Leistungen in Abhängigkeit von inhaltlichen Kontexten.** Manche Kinder, die in der Schule nur schwache Leistungen im Rechnen zeigen, können in alltäglichen Zusammenhängen, die ihnen vertraut sind, deutlich besser addieren und subtrahieren. Eine sehr eindrucksvolle Illustration dieses Phänomens stammt aus der Untersuchung mit brasilianischen Kindern, die zum Familieneinkommen beitragen, indem sie auf der Strasse Süßigkeiten, Obst und Softdrinks verkaufen. Die Kinder in dieser Untersuchung waren zwischen neun und fünfzehn Jahren alt, und waren alle – oft allerdings nur sporadisch – ein bis acht Jahre zur Schule gegangen. Diese Kinder zeigten ein sehr gutes Verständnis mathematischer Probleme, wenn ihnen die Rechenaufgaben im Zusammenhang mit Verkaufsszenarios präsentiert wurden. Stellte man ihnen hingegen dieselben Aufgaben in einem Format, wie es im Schulunterricht gebräuchlicher ist, dann waren ihre Leistungen deutlich schlechter. Sie wendeten also je nach Situationstyp unterschiedliche Strategien an. Wenn zum Beispiel der Versuchsleiter die Rolle eines Kunden spielte und die Kinder fragte, wie viel vier Kokosnüsse zum Preis von 35 Cruzeiros pro Kokosnuss kosten, dann gaben die Kinder Antworten wie die folgende: „Drei ergeben 105, plus 30, ergibt 135, eine Kokosnuss ist 35, das ergibt 140“. Die Kinder wendeten demnach die Strategie an, ein komplexes Problem in zwei leichtere Aufgaben zu zerlegen. Wurde hingegen dasselbe Kind gefragt, wie viel 35 multipliziert mit 4 ergibt, dann schrieb es die 35 über die 4 und gab Folgendes zur Antwort: „4 mal 5, 20, übertrage die 2, 2 plus 3 ist 5, 5 mal 4 ist 20“. Es schrieb dann die „20“ neben die „0“ und erhielt das unzutreffende Ergebnis „200“. Obwohl also beide Probleme in mathematischer Hinsicht völlig identisch sind, führten die beiden unterschiedlichen Zusammenhänge dazu, dass sie den Kindern verschieden vorkamen. Dieses Ergebnis konnte mit einer ganzen Reihe von Kindern belegt werden, die als Straßenverkäufer arbeiteten. Stellte man ihnen mathematische Probleme, die man in Verkaufsszenarios einbaute, dann verstanden sie diese Probleme und konnte sie unter Anwendung der oben dargestellten Strategie lösen. Präsentierte man ihnen hingegen mathematisch identische Aufgaben in einem formaleren Kontext – wie zum Beispiel als „ $35 \times 4$ “ – dann verstanden sie diese Probleme nicht und versuchten, sie auf eine Weise zu lösen, die dem Problem nicht angemessen war und daher auch nicht zur richtigen Lösung führte. **Die Aufgabe, Kindern mathematische Probleme verständlich zu machen und sicherzustellen, dass sie die zugrunde liegenden Konzepte erfassen, ist daher für die Lehrer eine der anspruchvollsten Herausforderungen.**

Auch an einfachen Textaufgaben lässt sich zeigen, dass sie bei gleichen Zahlen je nach Formulierung für Kinder unterschiedlich schwierig sind. Sehr deutlich zeigt sich dies bei der Aufgabe: „5 Vögel haben Hunger. Sie finden 3 Würmer. Wie viele Vögel bekommen keinen Wurm?“. Sie wird von fast allen Sechsjährigen gelöst. Dies ändert sich jedoch massiv, wenn die Aufgabe mit der Frage endet: „Wie viel mehr Vögel als Würmer gibt es?“. In diesem Falle wird die Aufgabe von weniger als 20% derselben Sechsjährigen gelöst, und selbst viele Drittklässler haben noch Schwierigkeiten mit ihr. Generell zeigt sich, dass Aufgaben, in denen der Vergleich von Mengen thematisiert wird, schwieriger sind als Aufgaben, in denen es um die Angleichung, den Austausch oder die Kombination von Mengen geht. Um den Vergleich von Mengen zu verstehen, muss man nämlich über ein **abstrakteres Zahlenverständnis** verfügen. Eine Zahl bezieht sich nicht auf eine konkrete Menge, wie z.B. die 2 Vögel, die keinen Wurm bekommen, sondern

gefragt wird nach einer Beziehung zwischen zwei Mengen, die erst im Geist hergestellt werden muss. Das stellt höhere Anforderungen an den Zahlbegriff.

### 3.3 Kulturelle Unterschiede als Ergebnis der Lerngeschichte

Internationale Vergleiche zwischen den Mathematikleistungen von Schülern stützen die Behauptung, dass bestimmte Ansätze im Mathematikunterricht deutlich besser geeignet sind als andere, um Kindern das Verständnis der grundlegenden Konzepte zu vermitteln. Beispielsweise zeigte eine vergleichende Studie, dass Achtklässler in Japan, Hongkong, Ungarn und den Niederlanden über ein weitaus besseres Verständnis mathematischer Grundkonzepte verfügen als ihre Altersgenossen in Deutschland. Weitere Untersuchungen mit Schülern der vierten und der zwölften Klasse kamen zu ähnlichen Ergebnissen. Dafür gibt es viele Gründe. Ein Grund liegt darin, dass in den Ländern, die bei diesen Tests am besten abschnitten, Lehrer und Kinder deutlich mehr Zeit mit Mathematikunterricht verbrachten als bei uns. *Ein weiterer Grund ist, dass in den Ländern mit den besseren Testergebnissen der Schwerpunkt des Mathematikunterrichts nicht auf dem Einüben von Lösungsprozeduren lag, sondern auf dem Erklären der Grundkonzepte.* Beispielsweise verbringen in Japan die Schüler oft die ganze Schulstunde damit, mit dem Lehrer über ein mathematisches Problem zu diskutieren: Zunächst versuchen sie, das Problem selber zu lösen. Dann schreiben sie verschiedene Lösungsvorschläge an die Tafel. Anschließend diskutiert die ganze Klasse, aus welchen Gründen einige Vorschläge korrekt und andere nicht korrekt sind. Diese Art der *problemorientierten Anleitung* ist wesentlich für die hervorragenden Testergebnisse bei japanischen Schülern verantwortlich.

Große Unterschiede zwischen verschiedenen Ländern findet man auch in der Art der behandelten Textaufgaben. In ostasiatischen und in osteuropäischen Ländern kommen sehr viel früher die anspruchsvolleren Textaufgaben zum Mengenvergleich vor als z.B. in den in Deutschland verbreiteten Schulbüchern. Auch das dürfte mit zu dem schlechten Ergebnis deutscher Schüler in internationalen Vergleichsstudien beigetragen haben.

### 3.4 Mathematische Frühförderung

Aus den vorangegangenen Ausführungen sollte deutlich geworden sein, *dass die eigentliche Herausforderung für Mathematikunterricht in der Förderung des mathematischen Verständnisses besteht.* Tatsächlich gibt es Kinder, die das Einmaleins herunterrattern können, aber lange überlegen müssen, wo das größere Ergebnis herauskommt, bei  $3 \times 7$  oder bei  $4 \times 8$ . Um solche Entwicklungen zu verhindern, sollten Kinder von Anfang an die Erfahrung machen, dass Mathematik nicht mit Rechnen gleichzusetzen ist. Sie sollten vielmehr erfahren, dass man mit Hilfe der Mathematik die Welt besser verstehen kann. Der Dortmunder Mathematikdidaktiker Erich Wittmann, dem große Verdienste um die Verbesserung der Schulmathematik zukommen, hat dies auf den Punkt gebracht, indem er *Mathematik als die Wissenschaft von den Mustern* bezeichnete. Mit Hilfe der mathematischen Sprache lässt sich die Welt neu sehen. Dies kann man schon im Kindergarten praktizieren, indem man die Kinder Mengen herstellen lässt oder mit ihnen über Symmetrie spricht. Der Giessener Mathematikprofessor Albrecht Beutelsbacher hat in dieser Hinsicht viele gute Ideen entwickelt und diese auch in Zeitschriften für Elementarerziehung veröffentlicht.

#### **4. Konzentrationsschwäche als Hemmnis beim Erwerb von Kulturtechniken**

Der Erwerb von Kulturtechniken wie Lesen und Schreiben setzt voraus, dass sich Kinder über längere Zeiträume auf eine Sache konzentrieren können. Wie könnten Kinder Aufsätze schreiben, ohne ihre Aufmerksamkeit auf die Tätigkeit des Schreibens und auf den Inhalt zu richten – vor allem, wenn sie von vielfältigen Ablenkungsmöglichkeiten umgeben sind? Solche Situationen, in denen man sich trotz Ablenkungsmöglichkeiten auf eine Sache konzentrieren muss, sind für jedermann anstrengend – aber manche Kinder haben damit besonders große Schwierigkeiten. Diese Kinder leiden unter dem sogenannten *ADHD-Syndrom (attention-deficit hyperactivity disorder)*. Man spricht auch von Hyperaktivität. Kinder mit ADHD sind im Allgemeinen von normaler Intelligenz und weisen keine emotionalen Störungen auf. Trotzdem haben sie Schwierigkeiten, sich an Pläne zu halten, Regeln zu folgen und Aufgaben auszuführen, die beständige Aufmerksamkeit erfordern. Viele von ihnen sind ständig in Bewegung, trommeln auf ihre Tische und laufen im Klassenzimmer umher, auch wenn sie eigentlich auf ihrem Platz sitzen sollten. Diese Kinder haben auch damit Probleme, Aggressionen zu unterdrücken, die zum Beispiel dann entstehen, wenn sie frustriert sind. Gemeinsam ist diesen Symptomen, dass sie auf die Unfähigkeit hinweisen, Impulse zum Handeln zu unterdrücken. Diese Schwierigkeit ist dann am größten, wenn es in der Nähe interessante Ablenkungsfaktoren gibt. In einer Studie mit sechs bis zwölf Jahre alten Kindern mit ADHD zeigte sich, dass diese Kinder einem Lehrfilm im Fernsehen nur halb so lange Aufmerksamkeit schenken wie Kinder ohne ADHD, wenn sich interessantes Spielzeug im Raum befand. Befand sich hingegen kein Spielzeug im Raum, gab es in der Aufmerksamkeit der Kinder beider Gruppen keine Unterschiede.

Ungefähr 3 bis 5 Prozent aller Kinder sind von ADHD betroffen. Die große Mehrheit der Kinder, bei denen ADHD festgestellt wurde, sind Jungen. Dies liegt aber möglicherweise auch daran, dass Jungen mit ADHD eher das sprunghafte Verhalten zeigen, anhand dessen ADHD diagnostiziert wird. Einige Kinder mit ADHD können ihre anfänglichen Probleme überwinden, aber die meisten haben diese Probleme weiter bis ins Jugend- und Erwachsenenalter. Schulversagen ist häufig vorprogrammiert.

Die Ursachen von ADHD sind recht vielfältig. Unter anderem sind genetische Faktoren von Bedeutung. Wenn nämlich ein eineiiger Zwilling ADHD hat, dann hat der andere Zwilling mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 Prozent ebenfalls ADHD, womit die Wahrscheinlichkeit in diesem Fall zehnmal so hoch ist wie normalerweise bei Kindern, die nicht genetisch miteinander verwandt sind. Hinzu kommt, dass adoptierten Kindern mit ADHD ihren biologischen Eltern überzufällig ähnlich sind. Ein weiterer Befund, der auf den Einfluss biologischer Faktoren hindeutet, besteht darin, dass Kinder mit ADHD im präfrontalen Kortex (das ist derjenige Teil des Gehirns, der für die Kontrolle der Aufmerksamkeit und für die Unterdrückung von Handlungen zuständig ist) ungewöhnliche Aktivierungsmuster aufweisen.

Auch die Umwelt hat Einfluss auf die Entwicklung von ADHD. Einige dieser Umwelteinflüsse sind direkt. Beispielsweise besteht ein direkter Zusammenhang zwischen Alkoholkonsum während der Schwangerschaft, der beim ungeborenen Kind zu Beeinträchtigungen bei der Hirnentwicklung führen kann, und dem Auftreten von ADHD. Darüber hinaus scheinen familiäre Konstellationen (Fehlen einer stabilen emotionalen Bindung, häufige Stresssituationen etc) Symptome von ADHD zu

begünstigen. An einem von uns neu etablierten Tiermodell konnten wir beispielsweise nachweisen, daß die häufige Trennung von den Eltern und Geschwistern (verbunden mit starkem auch endokrinologisch anhand erhöhter Cortisolwerte meßbarem Trennungsstreß) bei den Jungtieren eine motorischen Hyperaktivität auslöst, und darüber hinaus reagieren die gestressten Jungtieren kaum noch auf mütterliche Lautäußerungen (d.h. emotional positiv assoziierte Signale), was sowohl auf ein Aufmerksamkeitsdefizit, als auch auf emotionale Störungen hinweist. Interessanterweise zeigen diese Tiere ähnlich wie ADHD-diagnostizierte Kinder eine verminderte Aktivierbarkeit präfrontaler Gehirnareale. Darüber hinaus konnten wir auf neuronaler Ebene zeigen, daß die Tiere mit ADHD-ähnlichen Symptomen im präfrontalen Cortex, insbesondere im Gyrus cinguli, eine signifikant erhöhte Dichte erregender Synapsen aufweisen, die vielleicht eine hirnbioologische Ursache für deren Übererregbarkeit darstellen.

Andere Umwelteinflüsse sind eher indirekt. Kinder mit ADHD werden wegen ihres unaufmerksamen und sprunghaften Verhaltens von Eltern und Lehrern oft bestraft und oft auch von ihren Altersgenossen zurückgewiesen. Diese Reaktionen aber verstärken häufig das Problem eher noch. Andererseits sind viele Umweltfaktoren, die in Zeitschriften und Magazinen oft angeführt werden, in keiner Weise *ursächlich* an dem Zustandekommen von ADHD beteiligt. Beispielsweise hat der Zuckerkonsum der Kinder nichts mit dem Auftreten von ADHD zu tun. Und auch das Betrachten von Zeichentrickfilmen mit sprunghaften Handlungen und wilden Verfolgungsjagden wie „Tom und Jerry“ hat keinerlei Einfluss auf die Entstehung von ADHD.

Die gängigste Therapie von ADHD ist die medizinische Behandlung mit stimulierenden Mitteln wie Ritalin. Obgleich es paradox klingt, einem hyperaktiven Kind mit stimulierenden Medikamenten helfen zu wollen, ist die Behandlung mit Ritalin in 70 Prozent der Fälle erfolgreich. Durch diese Behandlung gelingt es den Kindern, sich weniger leicht ablenken zu lassen und ihre Aufmerksamkeit besser auf eine Sache zu richten. Dies führt zu besseren schulischen Leistungen, besseren Beziehungen zu den Mitschülern und zu einem reduzierten Aktivitätsniveau. Diese Besserungen halten aber nur so lange an, wie die Kinder die Medikamente kontinuierlich einnehmen. Im Rahmen der oben zitierten tierexperimentellen Studie zeigte sich, daß eine Ritalinbehandlung der ADHD-symptomatischen Tiere sowohl die motorische Hyperaktivität, als auch die verminderte Reaktion gegenüber den mütterlichen Lautäußerungen normalisiert. Interessanterweise zeigten die Ritalin-behandelten ADHD-Tiere später im Gyrus cinguli wieder normale Aktivierungsmuster im präfrontalen Cortex, und sie zeigten nach chronischer Ritalinbehandlung wieder normale (d.h. vergleichbar mit den nicht ADHD-symptomatischen Kontrolltieren) Dichten exzitatorischer Synapsen im Gyrus cinguli. Vor einer zu euphorischen Interpretation dieser zugegebenermaßen auch für uns erstaunlichen Befunde sei jedoch an dieser Stelle ausdrücklich gewarnt, denn wie eingangs bereits mehrfach betont, ist nicht nur die Anzahl synaptischer Verbindungen relevant, sondern vor allem auch die Qualität der Synapsen, und diese kann in diesem Versuchsansatz keinesfalls beurteilt werden.

Längerfristige Effekte bei Kindern lassen sich nur erzielen, indem man sie begleitend zur Ritalin-Therapie anleitet, unkonzentriertes und sprunghaftes Verhalten an sich selbst zu bemerken und zu kontrollieren. Ein wirksames Vorgehen besteht auch darin, diejenigen Personen zu schulen, die mit solchen Kindern zu tun haben. Als besonders wirksam hat es sich erwiesen, zum einen die Lehrer anzuleiten, Kindern mit ADHD zu gestatten,

zwischen der Arbeit an einer Aufgabe und dem Herumgehen im Klassenzimmer hin und her zu wechseln. Zum anderen haben sich positive Effekte eingestellt, wenn es gelang, die Eltern zu schulen, so dass sie das höhere Maß an Geduld aufbrachten, das der Umgang mit ADHD-Kindern erfordert. Kombiniert man diese verhaltensbezogenen Anleitungen mit geeigneten medizinischen Therapien, kann vielen Kindern mit ADHD geholfen werden.

## **5. Interindividuelle Unterschiede in der Lernfähigkeit und ihre neuronalen Grundlagen**

Bereits Sir Francis Galton nahm gegen Ende des 19. Jahrhunderts an, dass sich die kognitive Leistungsfähigkeit einer Person in Eigenschaften des menschlichen Nervensystems widerspiegelt. Zur Untersuchung dieser Annahme setzte er unter anderem Tests zur Sinnesprüfung (z.B. für visuelle oder akustische Reize) sowie Gedächtnistests ein, konnte jedoch keine Zusammenhänge zwischen diesen basalen Maßen und Indikatoren für Begabung oder Bildungserfolg feststellen. In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts erlebte ein Teil von Galtons Ideen eine Renaissance im Mental-Speed-Ansatz der Intelligenz. In diesem wird davon ausgegangen, dass *eine* Grundlage menschlicher Intelligenzunterschiede in der Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung liegt: Intelligentere Personen seien aufgrund einer höheren neuronalen Effizienz in der Lage, Informationen schneller aufzunehmen und zu verarbeiten als weniger intelligente Personen. Diese Annahme basiert auf zahlreichen Studien, welche konsistent negative Zusammenhänge zwischen psychometrisch erfasster Intelligenz und den Reaktionszeiten in so genannten elementaren kognitiven Aufgaben fanden. Als Beispiel für eine solche Aufgabe sei der Letter-Matching-Test von Posner und Mitchell erwähnt, in dem so schnell wie möglich die Übereinstimmung zweier visuell dargebotener Buchstaben im Hinblick auf verschiedene Kriterien beurteilt werden soll. In der „Physical Identity (PI)“-Bedingung besteht die Aufgabe darin zu entscheiden, ob die beiden Buchstaben physikalisch identisch (z.B. „AA“) oder nicht (z.B. „Aa“, „AB“) sind; in der „Name Identity (NI)“-Bedingung soll hingegen die semantische (inhaltliche) Übereinstimmung beurteilt werden (z.B. semantisch identisch: „Aa“ und „AA“; semantisch unterschiedlich: „Ab“ und „AB“). In einer Metaanalyse basierend auf 11 Studien mit insgesamt 1064 Probanden berichtet Neubauer von durchschnittlichen Korrelationen zwischen Intelligenz und Reaktionszeiten von  $-.23$  in der PI- und  $-.33$  in der NI-Bedingung.

Ausgehend von dieser Befundlage wurden zahlreiche Bemühungen unternommen, die neurophysiologischen Grundlagen dieser Unterschiede in der Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung zu erforschen. Die ersten Ansätze, die einzelne Geschwindigkeitsmaße des zentralen oder peripheren Nervensystems in Beziehung zu psychometrisch erfasster Intelligenz setzten, waren jedoch nicht von Erfolg gekrönt. Zum Beispiel resultierten Versuche, eindeutige Zusammenhänge zwischen verschiedenen Charakteristika von Evozierten Potenzialen im EEG (wie deren Latenzen oder Amplituden) und kognitiven Fähigkeiten zu finden, in einer bemerkenswert inkonsistenten Befundlage. Konsistentere Befunde wurden durch den Einsatz von modernen bildgebenden Verfahren gewonnen, welche nicht nur zeitliche, sondern auch räumliche Parameter der Gehirnaktivierung liefern.

## 5.1 Intelligenz und neurale Effizienz

Pionierarbeit bei der Erforschung neurophysiologischer Korrelate der Intelligenz haben Richard Haier und Kollegen geleistet. In ihrer 1988 publizierten Studie untersuchten sie die Gehirnaktivierung von acht Männern während der Bearbeitung eines etablierten Intelligenztests und fanden zahlreiche signifikante Zusammenhänge zwischen dem Aktivierungsausmaß in verschiedenen Regionen und der Intelligenz der Probanden. Diese Zusammenhänge waren jedoch – wider Erwarten – negativ, das heißt, intelligenteren Personen zeichneten sich während der Bearbeitung der Testaufgaben durch eine insgesamt **geringere Gehirnaktivierung** und damit **niedrigeren Energieverbrauch** aus als weniger intelligente Personen, obwohl erstere die besseren Leistungen erbrachten. Da diese Korrelationen in praktisch allen Gehirnregionen zu finden waren, schlossen die Autoren, dass sich Personen unterschiedlichen Intelligenzniveaus grundlegend in ihrer Gehirnorganisation unterscheiden. Sie konkretisierten ihre Annahme wie folgt: „Intelligence is not a function of how hard the brain works, but rather how efficiently it works. ... This efficiency may derive from the disuse of many brain areas irrelevant for good task performance as well as the more focused use of specific task-relevant areas.“

Die Beobachtung, dass intelligenteren Personen durch eine effizientere Gehirnaktivierung charakterisiert sind als weniger intelligente Personen, hat mittlerweile als **Hypothese der neuralen Effizienz** eine zentrale Position in der neurowissenschaftlichen Intelligenzforschung eingenommen. Gegenwärtig liegen zahlreiche Studien vor, welche mittels unterschiedlicher neurophysiologischer Methoden (von PET bis hin zu EEG) und unter Anwendung verschiedener kognitiver Aufgaben (von elementar-kognitiven Aufgaben bis hin zum komplexen Problemlösen) eine geringere und / oder stärker fokussierte Aktivierung bei intelligenteren Personen gefunden haben. Diese Beobachtungen werden auch durch neuere Befunde von Scheich und Kollegen an Studenten belegt, die mithilfe der funktionellen Kernspintomographie zeigen konnten, daß *vor* dem Erlernen einer akustischen Diskriminierungsaufgabe großflächigere Bereiche im auditorischen Cortex aktiviert sind, als *nach* dem Lerntraining für diese Aufgabe, wo dann nur noch ganz spezifische, kleine Bereiche im auditorischen Cortex aktiviert sind. Wie bereits in anderem Zusammenhang erwähnt optimiert demnach erfolgreiches Lerntraining den Energieverbrauch in den trainierten Hirnarealen. Darüber hinaus zeigt dieses Experiment auch, daß die verminderte Aktivierung im Gehirn die *Folge* von Lerntraining sind, d.h. eine verbesserte Expertise beim Lösen einer Aufgabe reflektiert. Dieser Effekt könnte auch die höhere neurale Effizienz bei intelligenteren Personen erklären. Weitere Erklärungsansätze für eine höhere neurale Effizienz bei intelligenteren Personen werden in Form von diversen Hypothesen diskutiert, z.B. **Myelinhypothese**, die **Neural-Pruning-Hypothese** und die **neurale Plastizitätshypothese** der Intelligenz, welche im Folgenden kurz umrissen werden.

Eine Reihe von kognitiven, physiologischen und anatomischen Befunden stützt die Hypothese, dass der individuelle Grad der Myelinisierung von Axonen im zentralen Nervensystem die Basis für Intelligenzunterschiede darstellt. Ein stärker myelinisiertes Gehirn bei intelligenteren Personen würde nicht nur eine höhere Geschwindigkeit in der Übertragung von Aktionspotenzialen ermöglichen, sondern auch die Fehleranfälligkeit der Übertragung von Nervenimpulsen reduzieren, weil durch besser isolierte

Verbindungen weniger „cross-talk“ zwischen benachbarten Axonen stattfindet. Diese Myelinhypothese erscheint besonders plausibel zur Erklärung von Befunden aus dem Mental-Speed-Ansatz der menschlichen Intelligenz, wo gezeigt wurde, dass intelligenter Personen tatsächlich eine schnellere und auch weniger fehleranfällige Informationsverarbeitung aufweisen. Befunde zur neuronalen Effizienz wie oben dargestellt werden ebenso auf den höheren Myelinisierungsgrad zurückgeführt, welcher mit dem Verlust von weniger Nervenimpulsen (und damit auch Energie) während der Informationsverarbeitung korreliert sein könnte.

Andere Untersuchungen bringen die neurale Effizienz mit der *Effektivität des Neural Pruning* in Zusammenhang. Unter „Neural Pruning“ versteht man den Abbau von redundanten synaptischen Verbindungen im Laufe der ontogenetischen Entwicklung. Findet dieser Bereinigungsprozess nur unvollständig oder unzureichend statt, würde durch das Verbleiben vieler ungenutzter Verbindungen mehr Energie benötigt, und zusätzlich könnte sich die Aktivierung auch mit höherer Wahrscheinlichkeit auf andere (nicht aufgabenrelevante) Areale ausbreiten. Bei Hochintelligenten hingegen sei der Pruningprozess besonders effektiv abgelaufen, so dass beinahe ausschließlich nur noch die notwendigen synaptischen Verbindungen erhalten blieben, was in weiterer Folge zu weniger Energieverbrauch und stärker fokussierter Aktivierung beiträgt.

Weitere Studien nehmen ebenso Bezug auf den allgemein beobachteten Pruning-Prozess während der menschlichen Entwicklung. Ihre Hauptaussage besteht jedoch darin, dass sich Personen in der axonalen und dendritischen Plastizität unterscheiden, so dass gleiche Umwelteinflüsse zu unterschiedlichen Fähigkeitsniveaus führen können. Die neuronalen Netzwerke intelligenterer Personen würden eine besonders hohe Plastizität für Umwelterfahrungen aufweisen, weswegen sie sich schneller und effektiver an neue Situationen anpassen könnten. Ein besser an Umweltanforderungen angepasstes neuronales Netzwerk erlaube überdies eine effizientere (und dadurch weniger Energie konsumierende) Informationsverarbeitung. In diesen Studien wird zudem darauf hingewiesen, dass die Plastizität des Gehirns über die Lebensspanne hinweg abnimmt, weshalb zentrale Lernerfahrungen möglichst vor dem Jugendalter bzw. der Pubertät stattfinden sollten.

## **5.2 Lernen und neurale Effizienz**

In Anbetracht der starken empirischen Evidenz für die Phänome der neuronalen Effizienz stellt sich beinahe unweigerlich die Frage, ob und inwieweit sich interindividuelle Unterschiede in dieser durch Umwelteinflüsse im Allgemeinen bzw. Lernerfahrungen im Speziellen verändern lassen. Die in der Einleitung dargestellten Befunde zu den neuronalen Korrelaten von Lernprozessen zeigen, wie sich Lernen auf neurophysiologischer Ebene widerspiegelt; interindividuelle Unterschiede in der allgemeinen kognitiven Leistungs- und Lernfähigkeit wurden jedoch meist nicht berücksichtigt. Von besonderem Interesse erscheint diese Frage in Anbetracht der Ergebnisse aus der Expertiseforschung, die – wie bereits erwähnt – gezeigt haben, dass kognitive Leistungen in bestimmten Bereichen (unter anderem auch in schulrelevanten Domänen wie Mathematik) in deutlich stärkerem Ausmaß durch das erworbene Vorwissen der Personen als durch Indikatoren ihrer allgemeinen kognitiven Leistungsfähigkeit (Intelligenz) vorhergesagt werden können. Bei domänenspezifischen



Leistungen konnte ein niedriges Intelligenzniveau sogar durch ein hohes Ausmaß an Wissen bzw. Expertise kompensiert werden.

Bislang liegen nur zwei Studien vor, die sich explizit mit der relativen Bedeutung von Intelligenz und Expertise für das Ausmaß neuraler Effizienz beschäftigen. In einer EEG-Studie wurden 31 Berufstaxifahrer unterschiedlichen Intelligenzniveaus mit zwei Arten von Untersuchungsaufgaben konfrontiert. In der so genannten Expertiseaufgabe wurden ihnen Routen innerhalb ihres Arbeitsgebiets präsentiert, welche sie sich einprägen und mental vorstellen sollten. Anschließend wurden zahlreiche Straßennamen dargeboten, wobei die Aufgabe darin bestand, so rasch wie möglich zu entscheiden, ob die genannten Straßen die Route kreuzen oder nicht. Im Gegensatz zu dieser Aufgabe, die sich direkt auf ihre Expertise bzw. ihr Vorwissen bezog, sollte die zweite Untersuchungsaufgabe ihre allgemeine kognitive Leistungsfähigkeit tangieren. In dieser Intelligenzaufgabe prägten sie sich Routen auf fiktiven Stadtplänen ein und entschieden anschließend anhand von Markierungspunkten auf den Stadtplänen, ob die zuvor eingeprägte Route durch diesen Punkt verlief oder nicht. Die Analysen der kortikalen Aktivierung ergaben, dass – in Übereinstimmung mit der Hypothese der neuralen Effizienz – die intelligenteren Personen eine geringere Aktivierung aufwiesen als die weniger intelligenten Personen. Dies war allerdings ausschließlich bei der (vorwissensfreien) Intelligenzaufgabe zu beobachten, während in der Expertiseaufgabe kein Unterschied zwischen Personen höherer und niedrigerer Intelligenz gefunden wurde. Daraus wurde der Schluss gezogen, dass „no such neural efficiency patterns emerge when prior knowledge or expertise comes into play“, und dass „once an elaborate knowledge base has been constructed, intelligence loses its impact not only on the achievement level, but also in the degree of cortical activation needed to reach this level“ (S. 95).

In einer zweiten Studie wurden 47 Turnierschachspieler unterschiedlicher Spielstärke und Intelligenz mit verschiedenen schachbezogenen Aufgaben getestet (von einer Aufgabe zur Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit bis zum Lösen von Schachproblemen). Im direkten Vergleich stärkerer vs. schwächerer sowie intelligenterer vs. weniger intelligenter Personen stellten sich unabhängige Einflüsse von Intelligenz und Spielstärke sowohl auf das erzielte Leistungsniveau als auch auf Ausmaß und Topographie der kortikalen Aktivierung heraus. Intelligenterer erzielten stets bessere Leistungen und wiesen eine stärker fokussierte und in frontalen Regionen geringere Aktivierung auf. Gleichzeitig zeigten stärkere Spieler (unabhängig von ihrer Intelligenz) bessere Leistungen als ihre schwächeren Kollegen; bei bestimmten Aufgaben (z.B. dem Lösen von Schachproblemen) war dies überdies von einer effizienteren Aktivierung (stärkere Fokussierung) begleitet.

Obwohl diese Ergebnisse zweifellos der Replikation bedürfen, bevor weit reichende Schlussfolgerungen über das Zusammenspiel von Intelligenz und Wissen gezogen werden können, deuten die Befunde derzeit darauf hin, ***dass effiziente Aktivierungsmuster nicht nur das Korrelat einer hohen (teilweise angeborenen) Intelligenz sind, sondern sich in einem bestimmten Ausmaß auch erwerben lassen.*** Wie schnell sie erworben werden können, scheint jedoch wiederum von der Intelligenz oder dem kognitiven Potenzial einer Person mitbestimmt zu sein.

In einer anderen Untersuchung trainierte eine Gruppe von Personen das Computerspiel „Tetris“ über einen Zeitraum von 4 bis 8 Wochen, was (a) in einer

bemerkenswerten Leistungssteigerung resultierte und (b) mit einer Aktivierungsabnahme von Prä- zu Posttest einherging. In einer Reanalyse der Daten stellte sich überdies heraus, dass die Aktivierungsabnahme mit dem Intelligenzniveau der Probanden korreliert war: Je höher die Intelligenz, desto stärker die Aktivierungsabnahme. Dieser Befund wurde von den Autoren als Zeichen dafür interpretiert, dass die intelligenteren Personen schneller (neural) effiziente Strategien in Tetris entwickeln konnten als die weniger intelligenten Personen.

Dieser Befund konnte in einer anderen Studie repliziert werden, wenngleich mit einer deutlich kürzeren Trainingsperiode, aber komplexeren kognitiven Anforderungen. In einem Prätest-Training-Posttest-Design wurden 27 Personen in Aufgaben zum (figuralen) schlussfolgernden Denken trainiert. Es zeigte sich, dass die Aktivierungsveränderung in Folge des Trainings signifikant mit der Intelligenz der Probanden korrelierte. Erneut war eine höhere Intelligenz mit einer stärkeren Abnahme der kortikalen Aktivierung assoziiert, wobei dieser Effekt am stärksten in frontalen (mit Intelligenzfunktionen assoziierten) Regionen zu beobachten war.

### **5.3 Neurostrukturelle Korrelate der Intelligenz**

Die neurowissenschaftliche Erforschung der Intelligenz förderte nicht nur neurophysiologische, sondern auch neurostrukturelle Korrelate von Intelligenz zu Tage. Mehrere MRI-Studien fanden Korrelationen zwischen Intelligenz und der Gehirngröße sowie dem totalen und regionalen Volumen grauer und weißer Substanz. Im Allgemeinen sind die Gehirne von intelligenteren Personen größer, enthalten mehr graue Substanz und scheinen stärker myelinisiert zu sein. Als am stärksten mit Intelligenz assoziiert erwies sich (unabhängig vom Gesamtvolumen) *der Anteil grauer Substanz in frontalen Gehirnregionen*, was die Relevanz dieser Areale für intellektuelle Leistungen erneut betont. Verhaltensgenetische Studien haben ferner gezeigt, dass interindividuelle Unterschiede in der grauen Substanz im Frontalhirn nicht nur starken genetischen Einflüssen unterliegen, sondern dass diesen Unterschieden vermutlich auch die gleichen Gene zu Grunde liegen wie interindividuellen Intelligenzunterschieden.

Ähnlich wie in den Untersuchungen zu den neuronalen Veränderungen durch Lernprozesse ist auch hier noch weitgehend ungeklärt, wie neurostrukturelle Unterschiede beispielsweise in der grauen Substanz mit der Aktivierung während kognitiver Aufgaben bzw. mit neuraler Effizienz zusammenhängen. Eine erste Vermutung wurde in einer kürzlich veröffentlichten MRI-Studie aufgestellt: „Having more gray matter in an area available for processing may also account for the inverse correlations reported in several studies between brain activation and good performance on g-loaded tasks ... provided that more gray matter results in less energy use when that area is employed (efficiently) for specific cognitive tasks“. Ebenso kann in Ermangelung entsprechender empirischer Evidenz derzeit noch keine Aussage darüber getroffen werden, wie interindividuelle Unterschiede in neurostrukturellen Parametern durch Lerneinflüsse moderiert sind bzw. sich durch gezielte Maßnahmen verändern.

Zusammenfassend lässt sich also festhalten, dass interindividuelle Unterschiede in der kognitiven Leistungsfähigkeit bzw. im Lernpotenzial mit Unterschieden in der Funktion und der Struktur des Gehirns korreliert sind. Auf neurophysiologischer Ebene liegen zahlreiche Befunde dafür vor, dass intelligentere Personen ihr Gehirn effizienter nutzen. Neurostrukturelle Studien zeigen, dass die Gehirne von intelligenteren Personen

größer und stärker myelinisiert sind und vorwiegend im frontalen Kortex mehr graue Substanz aufweisen. ***Ob diese beobachtbaren Unterschiede Ursache, Wirkung oder Epiphänome von Intelligenz sind, lässt sich derzeit allerdings noch nicht beantworten.*** Lernen und Wissenserwerb scheinen jedoch mit diesen Unterschieden zu interagieren und dürften unabhängig von der Intelligenz zu höherer neuraler Effizienz führen.

## **6. Sinnvolle Frühförderung durch das Üben von Vorläuferfähigkeiten**

Viele Kinder erwerben die Kenntnis des Alphabets sowie ***phonologische Bewusstheit*** bereits im Vorschulalter. Beides korreliert positiv mit ihrer ***Lesefähigkeit***, und zudem besteht zwischen phonologischer Bewusstheit und Lesefähigkeit ein kausaler Zusammenhang. Die phonologische Bewusstheit im Vorschulalter ist daher nicht nur ein geeignetes Instrument, um die Lesefähigkeit bis zur vierten Schulklasse vorherzusagen. Es hat sich darüber hinaus auch gezeigt, dass Kinder aufgrund des Trainings der phonologischen Bewusstheit im Alter von vier bis fünf Jahren mindestens in den vier darauf folgenden Jahren beim Lesen deutliche Fortschritte machen. In sehr gut kontrollierten Studien konnte zudem nachgewiesen werden, dass das Risiko einer Lese-Rechtschreib-Schwäche in der Grundschule durch ein Training der phonologischen Bewusstheit im Kindergarten entscheidend reduziert werden kann. Ziel der Vorschulerziehung sollte es nicht sein, bereits kleinen Kindern das Lesen beizubringen. ***Stattdessen sollte die phonologische Bewusstheit als die zentrale Vorläuferfähigkeit des Lesens spielerisch geübt werden.***

Das Identifizieren von Wörtern kann mit zwei verschiedenen Strategien geschehen: ***phonologisches Rekodieren*** und ***visuell gestützter Abruf***. Gute Fähigkeiten zum phonologischen Rekodieren versetzen Kinder in die Lage, mit dem phonologischen Rekodieren aufzuhören und stattdessen zur effizienteren Strategie überzuwechseln, dem visuell gestützten Abruf. Aus diesem Grund helfen Anleitungen zum Lesenlernen, bei denen großer Wert auf das Verfahren des phonologischen Rekodierens gelegt wird, den Kindern zu lernen, Wörter rasch und zuverlässig zu identifizieren. Auch bei Kindern mit Dyslexie erzielt man den besten Erfolg damit, ihnen Strategien beizubringen, die ihr phonologisches Rekodieren verbessern.

Das Verstehen von Texten profitiert davon, wenn die Worterkennung automatisiert wird, weil auf diese Weise kognitive Kapazitäten frei werden, die dann für das Textverstehen eingesetzt werden können. Die Fähigkeit zum Textverstehen wird zudem von dem Umfang beeinflusst, in dem Kinder über bestimmte Strategien des Verstehens, über ***Metakognition (Kontrolle des eigenen Textverstehens)*** sowie über inhaltliches Wissen verfügen. Weiterhin hängt das Verstehen von Texten davon ab, wie häufig Eltern ihren Kindern etwas vorlesen und wie oft die Kinder selber lesen.

Obwohl viele Kinder bereits im Vorschulalter zu schreiben beginnen, stellt das Schreiben von Texten für die meisten Kinder auch während der Schulzeit noch eine große geistige Herausforderung dar und bereitet ihnen viele Schwierigkeiten. Hauptsächlich beruhen diese Schwierigkeiten darauf, dass beim Schreiben gleichzeitig eine Reihe sowohl weniger anspruchsvoller Tätigkeiten – wie das korrekte Schreiben der Buchstaben und das Beachten der Grammatikregeln – als auch anspruchsvollere Zielsetzungen beachtet werden müssen, zum Beispiel welches Wissen beim Leser vorausgesetzt werden kann und welche Informationen ausdrücklich erwähnt werden müssen. Ebenso wie beim Lesen hängt auch beim Schreiben die Entwicklung wesentlich

von der Automatisierung bestimmter grundlegender Prozesse, von Metakognition (wie z.B. der Fähigkeit, sich in die Leser hineinzusetzen) und vom inhaltlichen Wissen ab. Bei Kindern, die unter ADHD leiden und daher nicht in der Lage sind, ihre Handlungsimpulse zu kontrollieren, ist das Lesen- und Schreibenlernen deutlich erschwert. Dieser Krankheit liegen sowohl gestörte Hirnfunktionen als auch Umweltfaktoren wie zum Beispiel Alkoholenuss der Mutter während der Schwangerschaft zugrunde. Natürlich sollen Kinder im Vorschulalter noch nicht schreiben lernen. ***Man kann aber eine wichtige Voraussetzung für kompetentes Schreiben trainieren, wenn man bereits mit kleinen Kindern Gesprächstechniken praktiziert, bei denen das Verstehen des Anderen im Mittelpunkt steht, so dass die Kinder lernen, sich auf die Erwartungen anderer einzustellen.***

Die meisten Kinder verwenden mehrere unterschiedliche Strategien, um Rechnen zu lernen, wie zum Beispiel das Ermitteln von Ergebnissen durch Abzählen und das Abrufen von Antworten aus dem Gedächtnis. Ihre Wahl zwischen diesen Strategien richtet sich dabei nach den jeweiligen Anforderungen, so dass sie die langsameren, aber sorgfältigeren Strategien nur bei schwierigen Aufgaben wählen. Im Zuge der Weiterentwicklung ihrer mathematischen Fähigkeiten gewinnt das ***Verständnis mathematischer Grundkonzepte*** zusehends an Bedeutung. Dies zeigt sich zum Beispiel daran, dass Kinder, die zwar bestimmte Lösungsverfahren eingeübt, aber die ihnen zugrunde liegenden Konzepte nicht verstanden haben, nicht in der Lage sind, diese Verfahren flexibel einzusetzen und auf neue Aufgaben anzuwenden. Im Mittelpunkt des Mathematikunterrichts sollte daher nicht das Einüben von Lösungsprozeduren, sondern das problemorientierte Erklären von Grundkonzepten stehen. Dies lässt sich bereits mit Vorschulkindern praktizieren, indem man sie zum Beispiel Mengen herstellen lässt oder mit ihnen über Symmetrie spricht.

## **Kapitel III: Die Sprachentwicklung im Kindesalter**

### **1. Voraussetzungen der Sprachentwicklung**

Symbolsysteme wie die natürlichen Sprachen dienen dazu, unsere Gedanken, unsere Gefühle und unser Wissen zu repräsentieren, und sie versetzen uns in die Lage, diese Inhalte mit anderen Menschen zu kommunizieren. Durch die Fähigkeit zur Verwendung von Symbolsystemen werden unsere kognitiven und kommunikativen Möglichkeiten in beträchtlichem Umfang erweitert. Beispielsweise ermöglicht es uns die Sprache, das Wissen vorangegangener Generationen zu erwerben sowie komplexe Sachverhalte zu repräsentieren. Aufgrund ihrer wichtigen Stellung als Hilfsmitteln zum Lernen und zum Repräsentieren von Wissen kommt dem Erwerb von Symbolsystemen in der kognitiven Entwicklung im Kindesalter eine sehr große Bedeutung zu. In diesem Kapitel wird es um den Erwerb der natürlichen Sprache gehen, die für uns das wichtigste Symbolsystem darstellt. In diesem Zusammenhang wird nicht nur auf das Lernen der Muttersprache, sondern auch auf den Erwerb einer Zweitsprache sowie auf das Lernen von Fremdsprachen im Schulunterricht eingegangen.

#### **1.1 Die Bestandteile natürlicher Sprachen**

Jeder natürlichen Sprache liegt ein komplexes System von Prinzipien zugrunde, durch die auf den verschiedenen, hierarchisch strukturierten Ebenen festgelegt wird, nach welchen Regeln komplexe Ausdrücke aus einfacheren Bestandteilen gebildet werden: Silben werden zu Wörtern zusammengesetzt, aus Wörtern werden Sätze gebildet, und Sätze werden zu Texten zusammengestellt. Der Spracherwerb schließt daher ein, dass diese Bestandteile – Silben und Wörter – sowie die Regeln erlernt werden, nach denen aus ihnen größere Einheiten wie Sätze und Texte gebildet werden. Der Vorteil, der sich aus der kombinatorischen Struktur der Sprache ergibt, liegt in ihrem generativen Charakter: Auf der Grundlage eines begrenzten Vokabulars können wir anhand grammatischer Regeln beliebig viele komplexe Ausdrücke erzeugen, um jeden beliebigen Inhalt auszudrücken.

Der Preis der unbegrenzten generativen Kraft natürlicher Sprachen ist allerdings ihre große Komplexität. Um sich vor Augen zu führen, welche Herausforderung diese Komplexität für Kinder darstellt, die eine natürliche Sprache erst erwerben sollen, stelle man sich vor, man sei in einem fremden Land und jemand sagte zu einem: „Hns wrft dn Bll.“ Man wäre nicht in der Lage zu verstehen, was diese Person uns mitteilen will. Erstens mag man bereits Probleme damit haben, einige der von dem Sprecher geäußerten Laute zu verstehen. *Phoneme* sind elementare Einheiten von Lauten, aus denen unsere gesprochenen Sprachen bestehen und mit denen Bedeutungsunterschiede bezeichnet werden. Zum Beispiel unterscheiden sich „Reise“ und „leise“ nur in einem Phonem voneinander, aber beide Wörter bedeuten für Sprecher des Deutschen Verschiedenes. Sprachen verwenden unterschiedliche Phoneme. Das Englische verwendet ungefähr 45 der 200 Phoneme, die in den natürlichen Sprachen unserer Welt vorkommen. Die Phoneme, mit denen in der einen Sprache Bedeutungen unterschieden werden, können mit den Phonemen übereinstimmen, die auch in anderen Sprachen zur Bedeutungsunterscheidung verwendet werden. Es ist aber auch durchaus möglich – wie im Fall von „r“ und „l“ im Japanischen –, dass Phonemunterschiede zwar in der einen, aber nicht in der anderen Sprache Bedeutungsunterschiede markieren. Zudem mögen

Kombinationen von Phonemen, die in der einen Sprache durchaus gebräuchlich sind, in einer anderen Sprache völlig ungewöhnlich sein. Wahrscheinlich wussten Sie nicht, wie Sie „Hns wrft dn Bll“ aussprechen sollten, weil diese Kombination von Phonemen im Deutschen nicht gebräuchlich ist. Der erste Schritt beim Spracherwerb besteht daher in der *phonologischen Entwicklung*, durch die Kinder Wissen über das für ihre Muttersprache charakteristische System von Lauten erwerben.

Ein weiterer Grund, warum man nicht verstehen könnte, was der fremde Sprecher aus diesem Gedankenexperiment sagen will, liegt darin, dass man selbst dann, wenn man in der Lage gewesen wäre, die Phoneme zu identifizieren, keinerlei Vorstellung davon gehabt hätte, was diese Laute bedeuten sollen. Die kleinsten Bedeutungseinheiten sind die sogenannten *Morpheme*, die aus einem oder mehreren Phonemen bestehen. Morpheme – einzeln sowie in Kombinationen – bilden Wörter. Zum Beispiel sind die Wörter „Ich“ und „Hund“ einzelne Morpheme, weil sich beide jeweils auf eine einzige Sache beziehen. Das Wort „Hunde“ hingegen besteht aus zwei Morphemen, von denen sich eines auf einen Hund und das andere darauf bezieht, dass es um mehrere Hunde geht. Der zweite Schritt beim Spracherwerb besteht also darin, im Zuge der *semantischen Entwicklung* das System zu erlernen, mit dessen Hilfe innerhalb einer bestimmten Sprache Bedeutungen zum Ausdruck gebracht werden.

Aber selbst dann, wenn man in der Lage wäre, die Bedeutung eines jeden Wortes zu erfassen, das von dem fremden Sprecher in diesem Gedankenexperiment geäußert wird, wäre man noch immer nicht in der Lage, die Bedeutung seiner Äußerung zu verstehen, weil sie von den Regeln abhängt, nach denen Wörter zu komplexeren Ausdrücken zusammengesetzt werden. Für jede Sprache gibt es eine Menge formaler Regeln – ihre *Syntax* – die bestimmen, auf welche Weise Wörter verschiedener Kategorien (Substantive, Verben, Adjektive, Adverbien, etc.) miteinander kombiniert werden können und welche Kombinationen nicht erlaubt sind. Ein Beispiel für eine solche Regel betrifft die Stellung von Wörtern in Aussagen: „Hans liebt Ulrike“ hat eine andere Bedeutung als „Ulrike liebt Hans“. Ein wesentlicher Aspekt beim Erlernen einer Sprache ist daher die *syntaktische Entwicklung*. Schließlich ist für den Spracherwerb noch die Kenntnis davon wichtig, auf welche Weise bestimmte Redewendungen in verschiedenen Kontexten gebraucht werden. Dieses Wissen darüber, in welchen Zusammenhängen welche Arten von Sprechakten üblich und erlaubt und welche unter bestimmten Bedingungen unüblich oder sogar verboten sind, erfordert daher die *pragmatische Entwicklung*.

Welche Voraussetzungen müssen erfüllt sein, damit man überhaupt eine natürliche Sprache lernen kann? Sprachen im echten und vollgültigen Sinne können allein von Menschen gelernt werden – allerdings nur unter der Voraussetzung, dass sie Umgang mit anderen Menschen haben, die bereits eine Sprache benutzen. Eine wichtige Voraussetzung für das Erlernen einer natürlichen Sprache ist das Verfügen über ein menschliches Gehirn. Sprachverhalten ist ein für unsere Spezies spezifisches Verhalten, denn nur menschliche Subjekte erwerben im Zuge ihrer normalen kognitiven Entwicklung und unter normalen Umweltbedingungen eine natürliche Sprache. Dieses Verhalten ist zudem in dem Sinne allgemein, dass nahezu alle menschlichen Personen im Zuge ihrer kognitiven Entwicklung eine natürliche Sprache erlernen. *Nur unter sehr ungewöhnlichen Umweltbedingungen und bei sehr schwerwiegenden kognitiven*

***Beeinträchtigungen können Kinder davon abgehalten werden, eine Sprache zu erlernen.***

Im Unterschied zum Menschen entwickelt kein anderes bekanntes Lebewesen unter natürlichen Bedingungen etwas, das der menschlichen Sprache hinsichtlich ihrer Komplexität und Generativität vergleichbar wäre – obwohl natürlich auch andere Lebewesen in der Lage sind, untereinander zu kommunizieren. So geben beispielsweise Vögel ihren Artgenossen ihre Revieransprüche durch ihren Gesang bekannt. Allerdings gelang es Verhaltensforschern in einer Reihe von Fällen, nicht-menschliche Lebewesen in der Verwendung von Zeichen zu trainieren. Ein Beispiel ist der Schimpanse Vicki, den ein Paar zusammen mit ihren eigenen Kindern aufwachsen ließ, um zu untersuchen, ob es gelingen würde, ihm das Sprechen beizubringen. Obwohl Vicki in der Lage war, einige Wörter und Sätze zu verstehen, konnte sie selber keinerlei erkennbare Wörter produzieren. Da Schimpansen offenbar die physiologischen Voraussetzungen für das Sprechen fehlen, konzentrierten sich die nachfolgenden Untersuchungen vor allem darauf, den Affen Zeichensprachen beizubringen. Washoe, ein Schimpanse, und Koko, ein Gorilla, wurden dafür berühmt, dass sie mit ihren Trainern und Wärtern per Zeichensprache kommunizieren konnten. Zum Beispiel konnte Washoe eine große Anzahl von Objekten bezeichnen, Forderungen stellen („Mehr Früchte“, „Bitte Rücken kratzen“) und Kommentare abgeben („Washoe bittet um Entschuldigung“). Trotzdem stimmen die Verhaltensforscher darin überein, dass Washoes und Kokos Leistungen zwar beeindruckend waren, man aber nicht sagen kann, sie verfügten über eine echte Sprache im vollgültigen Sinne. Denn es gab zum Beispiel keinerlei Belege dafür, dass ihre „Äußerungen“ syntaktische Struktur besitzen.

Die erfolgreichsten nicht-menschlichen Lebewesen, die Zeichen verwenden können, sind die beiden Bonobo-Affen Kanzi und Panbisha. Kanzi lernte, mit Menschen mithilfe einer speziell angefertigten Tastatur zu kommunizieren, auf der zahlreiche Symbole abgebildet waren, die bestimmte Objekte und Handlungen bezeichneten („geben“, „essen“, „Banane“, „Umarmung“, etc.). Kanzi lernte sehr schnell, die Tastatur zu verwenden, um Fragen zu beantworten, Forderungen zu stellen und auch Kommentare anzubieten. Er kombiniert häufig mehrere Zeichen, wobei allerdings unklar bleibt, ob sie nach bestimmten Prinzipien zusammengesetzt werden und daher als Sätze betrachtet werden können. Kanzi versteht auch viele Wörter und Sätze, die seine Trainer und Wärter zu ihm sagen, und er ist in der Lage, auf die Reihenfolge der Wörter zu achten. Wie auch immer die Frage entschieden werden mag, ob man nicht-menschlichen Lebewesen wie Kanzi echte Sprachen zuschreiben kann oder nicht – die folgenden Punkte sind eindeutig: ***Auch die allereinfachsten Fähigkeiten nicht-menschlicher Lebewesen zum Umgang mit Zeichensystemen sind das Resultat intensiven Trainings, während Kinder ungefähr im Alter von fünf Jahren die wesentlichen Grundzüge ihrer Muttersprache beherrschen, ohne das dazu viel explizites Training erforderlich wäre.*** Im Alter von fünf Jahren verstehen Kinder bereits tausende von Wörtern, während nicht-menschliche Primaten nur über ein sehr begrenztes Vokabular verfügen. Hinzu kommt, dass nicht-menschliche Primaten zwar in der Lage sind, einfache Symbole zu komplexen Zeichen zu kombinieren. Aber es gibt keine Belege dafür, dass die von ihnen erzeugten Zeichen eine syntaktische Struktur besitzen – die ein zentrales Merkmal der menschlichen Sprache ist. Zusammenfassend lässt sich also festhalten, dass nur das

menschliche Gehirn in der Lage ist, ein Kommunikationssystem zu generieren, das die Komplexität, Struktur und Generativität natürlicher Sprachen besitzt.

## **1.2 Äußere Voraussetzungen der Sprachentwicklung**

Über ein menschliches Gehirn zu verfügen, ist zwar eine notwendige, aber natürlich keine hinreichende Bedingung für das Erlernen einer natürlichen Sprache. Vielmehr müssen Kinder, um selber eine Sprache erlernen zu können, mit anderen Menschen aufwachsen, die mit ihnen sprachlich kommunizieren. Die Erfahrung, anderen Personen beim Sprechen zuzuhören, ist für die kindliche Sprachentwicklung wesentlich und den Kindern im allgemeinen auch leicht zugänglich. Kinder haben von früh an Gelegenheit, zahlreichen Unterhaltungen zuzuhören und werden oft wird auch direkt angesprochen. Viele der Sprechakte, die direkt an die Kinder gerichtet sind, stehen im Zusammenhang mit den täglichen Routinen – Füttern, Anziehen, Waschen, Spielen. Je älter die Kinder werden, umso mehr werden sie in die sprachliche Interaktion mit älteren Kindern und Erwachsenen einbezogen.

In nahezu allen Kulturen sprechen Erwachsene mit Kindern in einer ganz charakteristischen Weise, die sich von der Kommunikation mit Erwachsenen deutlich unterscheidet. Nicht nur Eltern verwenden diesen *spezifischen Sprachmodus*, wenn sie mit ihren Kindern sprechen, sondern zum Beispiel auch Kinder, die mit kleineren Kindern sprechen. Charakteristische Merkmale der an Kinder gerichteten Sprechweise bestehen zum Beispiel in der besonderen emotionalen Wärme, der größeren Tonhöhe sowie der größeren Langsamkeit und stärkeren Betonung des Gesprochenen. Zudem werden zwischen der einzelnen Äußerungen größere Pausen gemacht als beim Sprechen mit Erwachsenen und die einzelnen Äußerungen zudem mit deutlicheren mimischen Gesten begleitet. Obwohl der emotionale Ton der an Kinder gerichteten Sprechweise überwiegend von Wärme und Zuneigung bestimmt ist, variieren die Eltern diesen Ton mit zunehmendem Alter der Kinder, um ihnen wichtige Informationen mitzuteilen. Zum Beispiel teilt ein mit Schärfe und Nachdruck ausgesprochenes „Nein“ dem Kind mit, dass ein bestimmtes Verhalten unerwünscht ist, während ein freundliches „Ja“ Zustimmung signalisiert. Untersuchungen haben gezeigt, dass die verschiedenen Arten der Intonation von Eltern der unterschiedlichsten Kulturen zu den gleichen Zwecken eingesetzt werden. In einer Reihe von Experimenten konnte auch klar nachgewiesen werden, dass Kinder die verschiedenen Weisen der Intonation nutzen, um die Äußerungen ihrer Eltern zu interpretieren. In einem dieser Experimente wurde acht Monate alten Kindern ein für sie attraktives Spielzeug gezeigt, und ihre Mütter machten entweder zustimmende oder ablehnende Äußerungen. Die eine Hälfte der Äußerungen wurde in einem warmen, zustimmenden Ton gemacht, und die andere Hälfte in einem deutlich ablehnenden Ton. Die Kinder spielten häufiger mit dem Spielzeug, wenn der Ton warm und zustimmend war – und zwar unabhängig von den Inhalten der Äußerungen der Mütter.

Kinder ziehen die spezifische, an sie gerichtete Sprechweise der anderen Sprechweise, welche die Kommunikation zwischen Erwachsenen auszeichnet, deutlich vor – auch dann, wenn sie sich nicht an sie selber, sondern an andere Kinder richtet, und selbst dann, wenn es sich um eine Sprache handelt, die sie selber nicht verstehen. Beispielsweise konnte in einer Untersuchung mit chinesischen und nordamerikanischen Kindern gezeigt werden, dass sie einer Kantonesisch sprechenden Chinesin deutlich länger zuhörten, wenn diese mit einem anderen Kind sprach, als wenn sie mit einem



Erwachsenen sprach. Außerdem lernen Kinder – ebenso wie Erwachsene – mehr neue Wörter in einer Fremdsprache, wenn ihnen diese Wörter in der für die Kommunikation mit Kindern charakteristischen Sprechweise präsentiert werden, als wenn sie diese Wörter in der für die Kommunikation Erwachsener spezifischen Sprechweise hören.

Zusammenfassend lässt sich also festhalten, dass der Spracherwerb im Kindesalter von zwei Grundvoraussetzungen abhängig ist: einem menschlichen Gehirn und einer menschlichen Umwelt. ***Solange Kinder nicht unter ernsthaften Hirnschäden leiden oder in einer Umwelt mit extremer sozialer Deprivation aufwachsen, werden sie lernen, eine natürliche Sprache zu verstehen und zu sprechen.*** Im Folgenden wird es um die verschiedenen Stadien gehen, die der Prozess der kindlichen Sprachentwicklung durchläuft.

## **2. Die Stadien der Sprachentwicklung**

### **2.1 Der Prozess des Spracherwerbs**

Das Erlernen einer Sprache schließt sowohl das Zuhören als auch das Sprechen ein. Man muss lernen zu verstehen, was einem andere Personen mitteilen wollen, und man muss außerdem lernen, selber sprachliche Äußerungen zu produzieren. Kinder beginnen damit, zu beobachten, was andere sagen, und sie besitzen bereits ein recht umfassendes implizites Wissen über eine Sprache, wenn sie selber anfangen zu sprechen.

Sowohl Erwachsene als auch Kinder nehmen Sprachlaute als bestimmten Kategorien zugehörig wahr. Dieses Phänomen, das als ***kategorische Wahrnehmung*** bezeichnet wird, wurde identifiziert, indem man untersuchte, auf welche Weise Personen auf künstlich erzeugte Sprachlaute reagieren. In diesen Untersuchungen wurden Sprachsynthesizer verwendet, um Sprachlaute wie zum Beispiel „b“ kontinuierlich in verwandte Sprachlaute wie zum Beispiel „p“ umzuwandeln. Diese beiden Phoneme befinden sich in einem akustischen Kontinuum. Beide werden auf exakt die gleiche Weise produziert – der einzige Unterschied ist die Länge der Zeit, die zwischen dem Zeitpunkt liegt, an dem die Luft die Lippen verlässt, und dem Zeitpunkt, an dem die Stimmbänder zu vibrieren beginnen. Diese Zeitdifferenz ist im Fall des „b“ wesentlich kürzer (15 Millisekunden) als im Fall des „p“ (100 Millisekunden). In den genannten Untersuchungen wurde diese Zeitdifferenz kontinuierlich verändert, um das „b“ schrittweise in ein „p“ zu überführen. Es zeigte sich, dass Erwachsene diese kontinuierliche Veränderung nicht wahrnehmen. Statt dessen hören sie mehrere Male „b“ und dann einen abrupten Übergang zu „p“. Alle Töne, bei denen die oben genannte Zeitdifferenz unter 25 Millisekunden liegt, wurden als „b“ wahrgenommen, während alle anderen Töne, bei denen diese Zeitdifferenz zwischen 25 und 100 Millisekunden lag, als „p“ wahrgenommen wurden. Erwachsene teilen also das dargestellte Kontinuum von Tönen automatisch in zwei verschiedene Kategorien von Tönen ein.

***Diese Art der kategorischen Wahrnehmung findet sich bereits bei Säuglingen.***

In einer ganzen Reihe von Untersuchungen konnte nämlich gezeigt werden, dass Säuglinge ebenso wie Erwachsene beim Hören von Sprachlauten deutliche Unterschiede machen. In einer klassischen Studie saugten ein bis vier Monate alte Säuglinge an einem Schnuller, der mit einem Computer verbunden war. Über den Computer erzeugte ihr Saugen Sprachlaute, die sie über Lautsprecher hören konnten. Nachdem die Säuglinge einen Sprachlaut mehrmals gehört hatten, verloren sie das Interesse und saugten weniger intensiv. Anschließend wurde ihnen ein neuer Ton vorgespielt. Wenn der Saugreflex in

Reaktion auf diesen neuen Reiz zunahm, dann – so wurde gefolgert – waren die Kinder in der Lage, die Unterschiede zwischen dem alten und dem neuen Ton wahrzunehmen. Der entscheidende Faktor war in dieser Untersuchung die Beziehung zwischen dem alten und dem neuen Ton. Im Mittelpunkt stand dabei die Frage, ob die Säuglinge die gleichen Kategorieneinteilungen vornehmen würden wie die Erwachsenen. Der einen Gruppe von Säuglingen wurde als neuer Ton ein Sprachlaut präsentiert, der einer anderen Kategorie angehörte. Nachdem sie sich in der Habituerungsphase daran gewöhnt hatten, dass das Saugen am Schnuller beispielsweise ein „b“ erzeugt, wurde ihnen im Anschluss an die Habituerung ein Ton vorgespielt, den Erwachsene als „p“ identifizieren. Der zweiten Gruppe von Säuglingen wurden hingegen Töne vorgespielt, die aus der Sicht der Erwachsenen in die gleiche Kategorie fallen. Es zeigte sich, dass die Säuglinge ihre Saugtätigkeit verstärkten, wenn der neue Ton aus einer anderen Kategorie stammte als der bekannte Ton, an den sie sich bereits gewöhnt hatten. Fiel der neue Ton hingegen in die gleiche Kategorie wie der bereits bekannte Sprachlaut, dann setzte sich die Habituerung einfach fort. Ebenso wie bei Erwachsenen findet sich daher auch bereits bei Säuglingen das Phänomen der kategorischen Wahrnehmung. ***Erwachsene und Kinder unterscheiden sich allerdings darin, dass Kinder mehr Unterscheidungen treffen als Erwachsene.*** Dieses eher überraschende Phänomen tritt auf, weil in allen Sprachen stets nur eine Teilklasse aller existierenden Phoneme verwendet werden. Wie bereits weiter oben angemerkt wurde, markieren die Phoneme „r“ und „l“ zwar im Englischen einen Bedeutungsunterschied, nicht aber im Japanischen. Entsprechend sind Sprecher des Arabischen in der Lage, Unterschiede in der Aussprache des Phonems „k“ in „keep“ und „cool“ zu bemerken, die Sprechern des Englischen entgehen. ***Erwachsene nehmen einfach sehr viele Unterschiede zwischen Phonemen nicht wahr, die in ihrer Sprache keine Rolle spielen – was ein Grund dafür ist, warum ihnen das Lernen im Vergleich zu Kindern schwer fällt.*** Im Unterschied dazu bemerken Kinder auch solche Unterschiede zwischen Phonemen, die in ihrer eigenen Sprache ohne Bedeutung sind. So sind zum Beispiel Kinder vom afrikanischen Stamm der Kikuyu ebenso gut wie nordamerikanische Kinder imstande, Phonemunterschiede im Englischen zu identifizieren, zu denen es in ihrer eigenen Sprache keine Entsprechungen gibt. Zudem haben Untersuchungen mit Kindern aus englischsprachigen Elternhäusern gezeigt, dass sie Unterschiede zwischen Phonemen bemerken können, die zwar in anderen Sprachen, nicht aber in ihrer eigenen Sprache von Bedeutung sind.

Diese Untersuchungen belegen, dass Kinder über die angeborene Fähigkeit verfügen, Sprachlaute voneinander zu unterscheiden, die sie noch nie zuvor gehört haben. ***Diese Fähigkeit zur kategorialen Wahrnehmung von Sprachlauten ist für die Kinder ausgesprochen hilfreich, weil sie damit grundsätzlich darauf vorbereitet sind, jede beliebige Sprache, die es auf dieser Welt gibt, zu erlernen.*** Allerdings besitzen Kinder diese Fähigkeit, zwischen Sprachlauten zu unterscheiden, die sie bislang noch nicht gehört haben, nicht sehr lange. Bereits gegen Ende ihres ersten Lebensjahres gleicht ihre Wahrnehmung von Sprachlauten der Wahrnehmung von erwachsenen Personen. Dies wurde durch Untersuchungen mit Kindern gezeigt, die aus englischsprachigen Elternhäusern stammten und denen Unterschiede zwischen Sprachlauten präsentiert wurden, die zwar nicht im Englischen, aber dafür in Hindi und Nthlakapmx (einer Sprache, die von Indianern im Nordwesten der USA gesprochen wird) eine Bedeutung besitzen. Um die Unterscheidungsfähigkeiten der sechs bis zwölf Monate alten Kinder zu

testen, wurde ein einfaches Konditionierungsverfahren verwendet, das auf der folgenden Abbildung dargestellt ist.

Die Kinder lernten, dass ihnen immer dann, wenn sie eine Veränderung in den von ihnen gehörten Tönen bemerkten, auf der rechten Seite etwas Interessantes präsentiert wurde, das sie betrachten konnten, wenn sie den Kopf in diese Richtung drehten. Wenn die Kinder also ihren Kopf nach rechts drehten, wurde dies so interpretiert, dass sie einen Unterschied bei den von ihnen gehörten Tönen wahrgenommen hatten. Es zeigte sich, dass die Kinder im Alter von sechs bis acht Monaten noch in der Lage waren, nahezu alle Tonunterschiede zu identifizieren, die zwar nicht im Englischen, aber in beiden genannten Sprachen mit Bedeutungsunterschieden verbunden sind. Mit zehn bis zwölf Monaten hingegen erkannten sie nur noch weniger als 20 Prozent der Unterschiede, die sie zuvor identifizieren konnten.

Zusätzlich zu der Aufmerksamkeit für die Unterschiede in den Sprachlauten ihrer Muttersprache entwickeln Kinder auch zusehends ein wachsendes Gespür für die zahlreichen Regelmäßigkeiten dieser Sprache. Ein Beispiel sind die Regeln, nach denen die Silben von Wörtern betont werden. Im Englischen wird bei Wörtern, die aus zwei Silben bestehen, im Allgemeinen die erste Silbe betont – wie bei „English“, „often“ und „second“. In verschiedenen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass neun Monate alte nordamerikanische Kinder wesentlich aufmerksamer dem Vorlesen von zweisilbigen Wörtern zuhören, wenn diese auf der ersten Silbe betont werden, als wenn sie auf der zweiten Silbe betont werden. Dies wurde durch das folgende Verfahren zur Einschätzung der auditiven Präferenzen der Kinder herausgefunden: Um die Aufmerksamkeit der Kinder auf die Lautsprecher zu lenken, die links und rechts von ihnen angebracht waren, wurden Lämpchen verwendet, die nahe den Lautsprechern montiert waren. Sobald das Kind zu einem der angeschalteten Lämpchen hinblickte, wurde ihm mit dem Lautsprecher ein auditiver Reiz vorgespielt, und dies wurde so lange fortgesetzt, wie das Kind in die Richtung des betreffenden Lautsprechers blickte. Die Länge der Zeit, in der das Kind auf das erleuchtete Lämpchen blickte und damit dem entsprechenden auditiven Reiz zuhörte, wurde als Maß dafür verwendet, wie stark das Kind durch den auditiven Eindruck angezogen wurde.

Eine andere Regelmäßigkeit ihrer Muttersprache, für die Kinder früh Sensibilität entwickeln, sind Eigenschaften, welche die *Verteilung von Sprachlauten* betreffen. In jeder Sprache gibt es Laute, die mit größerer Wahrscheinlichkeit als andere Laute nur zusammen auftreten. Die Sensibilität für diese Art von sprachlicher Regelmäßigkeit wurde in einer Reihe von Experimenten untersucht, in denen Säuglinge und Kleinkinder neue Wörter lernten, die allein auf der Grundlage rein statistischer Regelmäßigkeiten gebildet wurden. Zum Beispiel wurde acht Monate alten Kindern zunächst zwei Minuten lang eine nach dem Zufallsprinzip zusammengestellte Folge dreisilbiger Wörter (zum Beispiel „tupiro“, „golabu“, „bidaku“, „padoti“) vorgespielt, ohne dass dabei zwischen den einzelnen Kunstwörtern Pausen gelassen wurden. Anschließend wurden den Kindern diese Wörter in Kombination mit bestimmten Nicht-Wörtern – also Kunstwörter mit denselben Silben, nur in anderen Kombinationen – vorgespielt. Die Kinder achteten deutlich länger auf die für sie neuen Nicht-Wörter. Damit sie diese Präferenz zeigen konnten, mussten sie in der Lage sein, sich daran zu erinnern, mit welcher Häufigkeit bestimmte Kombinationen von Silben in der ersten Folge von Wörtern zusammen aufgetreten sind. Sie lernten zum Beispiel, dass auf „bi“ stets „da“ folgte und dass nach

„da“ stets „ku“ kam. Kinder verwenden demnach Muster zusammen auftretender Silbenkombinationen, um Wörter im Strom auditiver Eindrücke zu identifizieren.

Ein weiteres Merkmal unserer Sprechweise – nämlich die kleinen Pausen, die wir beim Sprechen machen – stellt eine nützliche Information für etwas ältere Kinder dar. Elf Monate alte Kinder hörten länger solchen Reden zu, in denen Pausen von jeweils einer Sekunde zwischen den Wörtern gemacht wurden, als solchen Reden, bei denen diese Pausen zwischen den Silben der verschiedenen Wörter lagen. *Alle diese Untersuchungen zur Sprachwahrnehmung von Säuglingen und Kleinkindern belegen, dass sich Kinder von Geburt an intensiv darum bemühen, Muster in den Sprachlauten zu identifizieren, die von anderen Personen geäußert werden.* Sie beginnen zunächst damit, Unterschiede zwischen Sprachlauten zu erkennen und konzentrieren sich mit fortschreitender Entwicklung darauf, verschiedene Regelmäßigkeiten in der gesprochenen Sprache zu identifizieren.

## 2.2 Vorbereitungen für das Sprechen

Die Entwicklung des Sprechvermögens beginnt bereits in den ersten Monaten. In den ersten zwei Monaten ist das Repertoire an Tönen, die Säuglinge produzieren können, zunächst noch recht begrenzt. Sie schreien, niesen, seufzen, schmatzen und rülpfen zwar, aber ihr Gaumen und ihre Zunge sind noch nicht hinreichend ausgebildet, um richtige Sprachlaute produzieren zu können. Ungefähr mit sechs bis acht Wochen beginnen Kinder dann, einfache Sprachlaute zu produzieren – langgezogene Laute mit Vokalen, wie „ooohh“ und „aaahh“, sowie Kombinationen mit Konsonanten, wie zum Beispiel „goo“. Während sie in ihrer Wiege liegen, unterhalten sich Säuglinge mit dieser Art von Lautübungen, bei denen sie von dunklen zu hohen Tönen und von weichem Murmeln bis zu kräftigem Schreien wechseln. Durch diese Lautübungen trainieren die Kinder, Sprachlaute gezielt zu produzieren.

Zur gleichen Zeit, zu der ihr Repertoire an Sprachlauten wächst, lernen die Kinder auch, dass ihre sprachlichen Äußerungen Reaktionen bei anderen Personen hervorrufen, und beginnen, mit ihren Eltern erste Dialoge mit wechselseitigen „aaahhs“ und „ooohhs“ zu führen. Mit der Verbesserung der motorischen Kontrolle bei der Bildung von Sprachlauten beginnen sie zusehends, die Sprachlaute ihrer Konversationspartner zu imitieren, was sogar so weit geht, dass sie mit ihren Müttern in einer höheren Tonlage kommunizieren als mit ihren Vätern. Diese Tendenz von Säuglingen und Kleinkindern, die von ihnen gehörten Sprachlaute zu imitieren, wurde wiederholt in Experimenten bestätigt. So wurde zum Beispiel in einer Untersuchung mit fünf Monate alten Säuglingen gezeigt, dass sie Tonbandaufnahmen, auf denen ein Vokal zu hören war, imitierten, indem sie ähnlich klingende Vokale produzierten.

Ungefähr zwischen dem sechsten und zehnten Monat, aber im allgemeinen mit sieben Monaten, beginnen Säuglinge zu brabbeln. Dieses Brabbeln besteht normalerweise darin, dass Folgen von Silben produziert werden, bei denen auf einen Konsonanten ein Vokal folgt („pa“, „ba“, „ma“). Diese Silben werden in längeren Folgen wiederholt („bababa“). Obwohl früher angenommen wurde, dass Säuglinge eine große Menge von Lauten ihrer eigenen Muttersprache und anderer Sprachen brabbeln, haben neuere Untersuchungen gezeigt, dass sich ihr Brabbeln auf einen ziemlich begrenzten Bereich von Sprachlauten beschränkt, von denen nur wenige in ihrer Muttersprache nicht vorkommen.

Eine entscheidende Komponente in der Entwicklung des Brabbelns besteht darin, dass die Kinder **akustische Rückmeldungen über die von ihnen produzierten Sprachlaute** bekommen. Obwohl nämlich taub geborene Kinder ähnliche Laute produzieren wie hörfähige Kinder im Alter von fünf bis sechs Monaten, beginnen sie doch deutlich später zu brabbeln und produzieren auch weitaus weniger Laute. Dieses Ergebnis widerspricht der früher vertretenen Auffassung, dass taube und hörfähige Kinder zur gleichen Zeit zu brabbeln beginnen. Manche taub geborenen Kinder beginnen allerdings tatsächlich zum gleichen Zeitpunkt wie hörfähige Kinder zu brabbeln – und zwar handelt es sich dabei um solche Kinder, die bereits Kontakt mit der Zeichensprache haben.

Einige Untersuchungen zeigen nämlich, dass taub geborene Kinder, die bereits Umgang mit der Zeichensprache haben, im Alter von acht Monaten *manuell* zu brabbeln beginnen, indem sie manuell bestimmte Komponenten der Zeichensprache wiederholen und variieren – ebenso, wie hörfähige Kinder einzelne Silben wiederholen und variieren. In gleicher Weise, wie hörfähige Kinder Sprachen erlernen, indem sie mit deren Komponenten experimentieren, erlernen taub geborene Kinder Zeichensprachen, indem sie mit deren Elementen experimentieren.

Im Zuge der Entwicklung nimmt das kindliche Brabbeln schrittweise den Tonfall und den Rhythmus der von den Kindern täglich gehörten Sprache an. In einem ausgeklügelten Experiment hörten Erwachsene dem Brabbeln eines acht Monate alten französischen Säuglings sowie dem Brabbeln eines anderen acht Monate alten Säuglings zu, entweder aus einer Arabisch oder aus einer Kantonesisch sprechenden Familie. Wenn die Erwachsenen gefragt wurden, welcher Säugling in den jeweiligen Paaren der französische Säugling ist, konnten sie diese Frage in 70 Prozent aller Fälle korrekt beantworten. So gesehen sind Kinder bereits ehe sie richtig sprechen können in einem bestimmten Sinne „Sprecher ihrer Muttersprache“.

Bevor wir auf den nächsten großen Schritt in der Sprachentwicklung eingehen – das Produzieren erkennbarer Wörter –, ist es wichtig, den sozialen Kontext zu thematisieren, der in den meisten Kulturen den Spracherwerb begünstigt. Auch bevor Kinder zu sprechen beginnen, zeigen sie bereits die Fähigkeit zur Kommunikation. **Erfolgreiche Kommunikation setzt Intersubjektivität voraus: Die interagierenden Kommunikationspartner müssen ihre Aufmerksamkeit auf einen gemeinsamen Gegenstand richten.** Im Säuglingsalter müssen die Eltern diese Aufmerksamkeit für einen gemeinsamen Gegenstand zunächst dadurch herbeiführen, dass sie sich an der Blickrichtung und den Gesten des Säuglings orientieren und kommentieren, worauf sich seine Aufmerksamkeit gerade richtet. Mit ungefähr sechs Monaten sind Kinder in der Lage, der Blickrichtung anderer Personen zu folgen, sofern diese Personen auf etwas blicken, das sich deutlich sichtbar im Gesichtsfeld des Kindes befindet. Ab 18 Monaten sind Kleinkinder dann in der Lage, anhand der Blickrichtung eines Erwachsenen zu bestimmen, worauf sich dessen Aufmerksamkeit richtet.

Ein gängiges Verfahren, um bei der Kommunikation mit anderen Erwachsenen sicherzustellen, dass sich die gemeinsame Aufmerksamkeit auf das gleiche Objekt richtet, besteht darin, auf den Gegenstand des Gesprächs mit dem Finger zu zeigen. Wenn man dies aber mit Säuglingen versucht, dann starren sie zwar aufmerksam auf den ausgestreckten Finger, mit dem gezeigt wird, aber sie sehen nicht zu der Sache hin, die mit dieser Hinweisgeste bezeichnet wird. Erst im Alter von neun Monaten beginnen

Kleinkinder, in die Richtung zu schauen, in die der Finger deutet. Wenige Monate später beginnen sie selber, auf Gegenstände zu zeigen, und mit zwei Jahren können Kinder Hinweisgesten zielgerichtet einsetzen, um die Aufmerksamkeit anderer Personen auf bestimmte Gegenstände zu lenken. Diese frühen Formen der Interaktion mit anderen Personen bilden die Grundlage, auf der die sprachliche Kommunikation aufgebaut wird.

Kinder brauchen also Zeit zur Vorbereitung, bevor sie mit dem Sprechen beginnen. Durch das Brabbeln üben sie das gezielte Produzieren von Sprachlauten ein. Während sie das tun, beginnen ihre Äußerungen bereits, sich wie die Äußerungen ihrer Eltern anzuhören. Durch frühe Interaktion mit ihren Eltern erwerben sie zudem Kommunikationstechniken, die später für die sprachliche Kommunikation unentbehrlich sind, etwa Verfahren, um die Aufmerksamkeit auf einen gemeinsamen Gegenstand zu richten.

### **2.3 Die ersten Wörter**

Kinder erlernen ihre ersten Wörter einfach als vertraute Muster von Lauten und ohne mit ihnen zunächst eine Bedeutung zu verbinden. Aber ab einem bestimmten Punkt in der Entwicklung erhalten Wörter für sie *Bedeutungen* und werden damit zu Vehikeln, um Inhalte zu kommunizieren. Die erste Anforderung beim Erlernen von Wörtern besteht darin, sie in der gesprochenen Sprache erkennen bzw. identifizieren zu können. Der erste vertraute Sprachlaut, den Kinder erkennen können, ist ihr eigener Name. Bereits im Alter von 4 ½ Monaten hören Säuglinge einem Tonband, auf dem ihr eigener Name gesprochen wird, länger zu, als einem Tonband, auf dem ein anderer – aber ähnlich klingender – Name zu hören ist. Mit sieben bis acht Monaten sind Kinder dann in der Lage, neue Wörter zu erkennen und sich mehrere Wochen lang an sie zu erinnern.

Sobald Kinder in der Lage sind, wiederholt auftretende Einheiten in der von ihnen gehörten Sprache zu identifizieren, sind alle Vorbedingungen für den nächsten bedeutenden Entwicklungsschritt erfüllt, der darin besteht, Wörter mit Inhalten zu assoziieren und auf Gegenstände und Ereignisse zu beziehen. Herauszufinden, worauf sich eine bestimmte Kombination von Sprachlauten bezieht, ist eine sehr komplexe Aufgabe. Wenn jemand zum Beispiel in der Gegenwart eines Kaninchens „Kaninchen“ sagt – woher soll das Kind wissen, dass sich dieses Wort auf das Kaninchen bezieht und nicht auf dessen Schwanz oder auf das Zucken seiner Nase? Dass das Problem der Referenz ein echtes Problem ist, zeigt sich an solchen Fällen wie dem eines Kleinkindes, das glaubte, „Puh!“ sei Teil der Begrüßung, weil seine Mutter immer „Puh!“ sagte, wenn sie morgens den Raum des Kindes betrat.

Viele Belege sprechen dafür, dass Kinder ungefähr mit sechs Monaten anfangen, vertraute Wörter mit Bedeutungen zu assoziieren. Wenn Kinder dieses Alters zum Beispiel „Mami“ oder „Papi“ hören, dann blicken sie in die Richtung der betreffenden Person. Mit der Zeit lernen die Kinder, auch solche Wörter zu verstehen, die nicht so häufig wie die beiden genannten Wörter verwendet werden. Die Unterschiede im Vokabular von Kleinkindern sind zu Anfang noch sehr groß. Untersuchungen haben gezeigt, dass das Vokabular, das zehn Monate alte Kinder bereits verstehen konnten, von 11 bis 154 Wörtern variierte.

Die meisten Kinder sprechen ihre ersten Wörter mit zehn bis fünfzehn Monaten. Welche Bedingungen muss eine Äußerung erfüllen, damit sie tatsächlich als erstes Wort zählt? Es kann jede Äußerung sein, von der das Kind konsistent und wiederholt Gebrauch

macht, um sich auf eine bestimmte Sache zu beziehen bzw. um einen bestimmten Inhalt auszudrücken. Aber selbst mit diesem weiten Kriterium kann es schwierig sein, die ersten Wörter eines Kindes zu identifizieren. Zum einen neigen viele Eltern dazu, das Brabbeln ihrer Kinder zu überinterpretieren. Zum anderen können sich sehr frühe Wörter deutlich von den regulären Ausdrücken einer Sprache unterscheiden. Ein Kleinkind benutzte beispielsweise als erstes Wort den Ausdruck „Wuff“, um damit in der Gegenwart des Nachbarhundes auf diesen hinzuweisen bzw. bei seiner Abwesenheit mitzuteilen, dass es seine Anwesenheit wünschte.

Zunächst ist die Fähigkeit zur Produktion von Wörtern bei Kindern durch ihr Vermögen beschränkt, ihnen bekannte Wörter so auszusprechen, dass ein aufmerksamer Erwachsener sie als Wörter identifizieren kann. Kinder verwenden dabei eine Reihe von Vereinfachungsstrategien. Zum Beispiel lassen sie die für sie schwierig auszusprechenden Teile weg und sagen „Nane“ statt „Banane“, oder sie ersetzen Laute, die sie noch nicht aussprechen können, durch leichter auszusprechende Laute und sagen „Bubba“ statt „Bruder“. Manchmal stellen sie auch die Reihenfolge der Silben um, damit sie mit einem Sprachlaut beginnen können, der für sie leichter auszusprechen ist – und sagen zum Beispiel „pasketti“ statt „Spaghetti“.

Worüber sprechen Kinder, wenn sie gegen Ende des ersten Lebensjahres zu sprechen beginnen? Das aktive Vokabular der Kinder in diesem Entwicklungsabschnitt umfasst in erster Linie Wörter für Personen, Gegenstände und Ereignisse aus ihrem Alltag. Kinder benennen ihre Eltern, Geschwister und Haustiere sowie für sie wichtige Gegenstände wie Kekse, Saft und Bälle. Häufig werden auch tägliche Routinen und Ereignisse wie Aufstehen und Schlafengehen von ihnen benannt.

Zunächst überwiegen im Vokabular von Kleinkindern die Substantive. Dies ist wahrscheinlich deswegen der Fall, weil sie Objekte repräsentieren, die leichter zu beobachten sind als die Objekte von Verben. Denn Verben beziehen sich auf Tätigkeiten und Relationen. Hinzu kommt, dass der Anteil der Substantive im Vokabular der Kleinkinder davon abhängt, wie viele Substantive in der Rede enthalten sind, die ihre Mütter an sie richten. Und westeuropäische sowie nordamerikanische Mütter zeichnen sich im Allgemeinen dadurch aus, dass sie den Spracherwerb ihrer Kinder fördern, indem sie ihnen in erster Linie Substantive beibringen, die sich auf bestimmte Gegenstände beziehen.

Während sie zu sprechen beginnen, verwenden Kinder anfangs immer nur ein einzelnes Wort. Dieser Entwicklungsabschnitt, in dem sich Kinder auf **Ein-Wort-Äußerungen** beschränken, wird auch als **holophrastische Periode** bezeichnet, weil Kinder einen ganzen Satz mit einer einzigen Äußerung ausdrücken. „Trinken“ kann zum Beispiel bedeuten, dass das Kind möchte, dass ihm seine Mutter etwas zu trinken einschenkt. „Saft“ kann die gleiche Bedeutung haben. In diesem Entwicklungsabschnitt sind Kinder jedoch nicht darauf beschränkt, eine einzige Idee sprachlich auszudrücken, denn sie können komplexere Ideen dadurch kommunizieren, dass sie mehrere Ein-Wort-Äußerungen miteinander kombinieren – wie zum Beispiel ein kleines Mädchen mit einer Augeninfektion, das auf sein Auge deutete und zunächst „Aua“ und dann nach einer Pause „Auge“ sagte.

**Die Geschwindigkeit, mit der sich das Vokabular von Kindern entwickelt, ist vor allem von der Menge der gesprochenen Sprache abhängig, welche die Kinder hören. Je mehr die Mütter mit ihren Kindern sprechen, umso schneller lernen sie neue Wörter. Da**

Mütter mit einem höheren Bildungsniveau im allgemeinen deutlich mehr mit ihren Kindern sprechen als Mütter mit einem niedrigeren Bildungsniveau, ist das Vokabular ihrer Kinder im allgemeinen auch deutlich umfangreicher als das Vokabular von Kindern, deren Mütter ein niedrigeres Bildungsniveau besitzen.

Die Inhalte, die Kinder kommunizieren möchten, übersteigen aufgrund ihres begrenzten Vokabulars oft ihre Ausdrucksmöglichkeiten. Aus diesem Grund verwenden sie die Wörter, die sie bereits verstehen, oft in zwei verschiedenen Funktionen. Zum einen ist zu beobachten, dass Kinder Wörter *übergeneralisieren*, indem sie sie mit einer allgemeineren Bedeutung verwenden, als eigentlich angemessen ist. Dies ist zum Beispiel dann der Fall, wenn sie das Wort „Hund“ verwenden, um alle vierbeinigen Tiere zu bezeichnen. Die meisten Übergeneralisierungen deuten nicht auf mangelndes Wissen hin, sondern auf die Anstrengung, bestimmte Inhalte zu kommunizieren. Dies ergaben Untersuchungen mit Kindern gezeigt haben, die solche Übergeneralisierungen benutzt hatten. In einer dieser Untersuchungen wurden den Kindern paarweise Bilder von Sachen gezeigt, die sie mit einem einzigen Ausdruck bezeichneten – wie zum Beispiel Bilder von einem Hund und von einem Schaf, die von ihnen beide gleichermaßen als „Hund“ bezeichnet wurden. Sobald diese Kinder aber aufgefordert wurden, auf das Schaf zu zeigen, konnten sie die Aufgabe korrekt bewältigen. Die Kinder verstanden demnach die Bedeutung des Wortes „Schaf“, aber da es sich nicht in ihrem aktiven Vokabular befand, benutzten sie ein anderes, verwandtes Wort, um von Schafen zu sprechen.

Ungefähr im Alter von 18 Monaten verfügen Kinder im allgemeinen über ein aktives Vokabular von etwa fünfzig Wörtern. Von diesem Alter an beginnt ihr aktives Vokabular rapide zu wachsen. Während die Entwicklung des aktiven Vokabulars bis zum Alter von 18 Monaten langsam und stetig verläuft, beschleunigt sie sich von diesem Alter an so sehr, dass die Kinder beinahe jeden Tag ein neues Wort lernen. Auch ihr passives Vokabular entwickelt sich ab diesem Alter sehr schnell. Im Durchschnitt lernen die Kinder täglich fünf bis zehn neue Wörter.

Viele Eltern reagieren besorgt, wenn sie bemerken, dass ihr Kind in der Sprachentwicklung noch nicht so weit ist wie andere Kinder seiner Altersgruppe. Ab welchem Zeitpunkt ist ihre Besorgnis angemessen? *Es ist in diesem Zusammenhang ausgesprochen wichtig, sich vor Augen zu führen, dass es in der Sprachentwicklung große individuelle Unterschiede gibt und dass die meisten dieser Unterschiede keinerlei Rückschlüsse auf spätere Schwierigkeiten erlauben.* Ein wichtiger Unterschied betrifft den *Sprachstil* – das heißt, die Strategie, der die Kinder folgen, wenn sie zu sprechen beginnen. Während einige Kinder einen *referentiellen* oder *analytischen Stil* haben, sprechen andere in einem *expressiven* oder *holistischen* Stil. Eine dritte Form ist der *Abwarten-und-Zusehen-Stil*. Diese drei Stile wurden in einer Untersuchung mit französischen Kindern identifiziert. Kinder, deren Sprachstil als referentiell charakterisiert wird, neigen dazu, die von ihnen gehörte Sprache in einzelne phonetische Elemente zu zerlegen, und ihre ersten Äußerungen sind im allgemeinen Wörter, die nur aus einer einzigen Silbe bestehen. Dieser Stil wird zum Beispiel durch den Fall von Emilie veranschaulicht, deren erste zwanzig Wörter nur aus einer Silbe bestanden und mit den drei Konsonanten begannen, die auch früher ihr Brabbeln dominiert hatten. Sie ging also so vor, dass sie aus der Sprache der Erwachsenen systematisch diejenigen Wörter aussuchte, die sie bereits aussprechen konnte. Mit dieser einfachen und effizienten Strategie gelang es Emilie recht bald, ihr Vokabular rasch zu erweitern.



Kinder, die als expressiv charakterisiert werden, achten mehr auf den allgemeinen Klang einer Sprache – auf deren Rhythmus und Betonungsmuster – als auf die phonetischen Elemente, aus denen die Äußerungen zusammengesetzt sind. Dieser Stil wurde zum Beispiel von Simon übernommen, dessen Strategie man als „Konversation hat Vorrang“ kennzeichnen kann. Statt wie Emilie mit kleinen Einheiten zu beginnen, nahm Simon an der Konversation mit Erwachsenen mit langen „Sätzen“ und sogar „Fragen“ teil, die von ihm mit korrektem Rhythmus und korrekter Betonung ausgesprochen wurden. Allerdings enthielten diese Äußerungen keinerlei erkennbare Wörter. Kinder, die der dritten Strategie folgen, der Abwarten-und-Zusehen-Strategie, beginnen erst spät zu sprechen – manche von ihnen sehr spät. Henri zum Beispiel brabbelte nur wenig, und auch als er schon viele Wörter verstand, blieb er meistens stumm. Bis zum Alter von 20 Monaten sagte er kaum mehr als „Mami“, „Papi“ und „nein“. Allerdings hatte Henri bis zu diesem Zeitpunkt seine Muttersprache aufmerksam beobachtet und gelernt, so dass er mit 20 Monaten schlagartig begann, zahlreiche klar artikulierte Wörter zu sprechen, und rasch sein aktives Vokabular erweiterte. ***Obwohl diese drei unterschiedlichen Stile beschreiben, auf welche Weise Kinder Sprachen erlernen, beschreiben sie doch keine Unterschiede hinsichtlich des Sprachniveaus, das schließlich erreicht wird.*** Welcher Strategie die Kinder folgen, hat nämlich keinen Einfluss auf das von ihnen erreichte Sprachniveau. Es gibt große Unterschiede zwischen Kindern hinsichtlich des Zeitpunkts, zu dem sie das erste erkennbare Wort und den ersten Satz sprechen, so wie auch hinsichtlich ihres aktiven und passiven Vokabulars sehr große Unterschiede bestehen können. Im allgemeinen verhält es sich so, dass auch solche Kinder, die in der Sprachentwicklung etwas zurück sind, diesen Rückstand in wenigen Jahren vollständig aufholen. Eltern, die besorgt sind, weil sich das Sprachvermögen ihres Kindes zu langsam entwickelt, können sich damit trösten, dass von Albert Einstein gesagt wird, er habe erst im Alter von vier bis fünf Jahren zu sprechen begonnen. Solange also keine weiteren Anzeichen dafür auftreten, dass es Probleme mit der kognitiven Entwicklung gibt, brauchen Eltern nicht besorgt zu sein, wenn ihr Kind erst spät zu sprechen beginnt. ***Allerdings sollte man aufmerksam darauf achten, ob die Kinder in Bezug auf das Verstehen von Wörtern in ihrer Entwicklung zurück sind, denn dies kann ein Hinweis auf Gehörprobleme oder auf andere kognitive Probleme sein, die auf die weitere kognitive Entwicklung entscheidenden Einfluss haben können.***

Welche Faktoren beeinflussen die Geschwindigkeit, mit der Kinder neue Wörter lernen? Hier sind vor allem zwei Faktoren entscheidend: die Unterstützung durch die Eltern bzw. durch Erwachsene überhaupt und durch die Kinder selber. Erwachsene können Kindern das Erlernen neuer Wörter erleichtern, indem sie diese Wörter durch Betonung hervorheben und das neue Wort an das Ende des Satzes stellen. Es ist ebenfalls hilfreich, bekannte Objekte, auf die sich das Kind gerade konzentriert, ausdrücklich zu benennen, um damit den Bezug der betreffenden Wörter eindeutig festzulegen. Verstärkend wirkt es auch, mit den Kindern Spiele zu machen, bei denen sie selber auf Objekte zeigen müssen, die ihnen genannt werden. Auch Wiederholungen helfen, denn Untersuchungen haben gezeigt, dass Kinder Wörter leichter lernen, die ihre Eltern oft verwenden.

Wenn Kinder neue Wörter lernen, deren Bedeutung sie noch nicht verstehen, dann experimentieren sie mit diesen Wörtern aktiv in dem Zusammenhang, in dem sie genannt wurden, um auf diese Weise ihre Bedeutung zu erschließen. So erschließen

Kinder beispielsweise die Bedeutung von Wörtern, indem sie ein neues Wort mit einem bereits bekannten Wort kontrastieren. In Experimenten wurde die Aufmerksamkeit der Kinder zunächst auf zwei Objekte gelenkt. Anschließend wurden sie aufgefordert: „Bring mir das Ding aus Chrom, nicht das rote“. In diesem Fall wurde den Kindern also ein Kontrast zwischen einem bereits bekannten („rot“) und einem unbekanntem Wort („Chrom“) präsentiert. Aus diesem einfachen Kontrast zogen die Kinder die Folgerung, dass „Chrom“ die Bezeichnung für die Farbe des Dings war, die sie herbeibringen sollten. Ungefähr die Hälfte der Kinder aus diesem Experiment war daher auch eine Woche später noch in der Lage, nach dieser einzigen Erwähnung des Wortes „Chrom“ chromfarbene Objekte zu identifizieren.

Viele Schlüsse dieser Art, die Kinder im Verlauf des Spracherwerbs ziehen, beruhen auf einer Reihe von Annahmen, welche die Bedeutungsmöglichkeiten der neuen und unbekanntem Wörter eingrenzen. Zum Beispiel setzen Kinder die sogenannte **Ganzes-Objekt-Annahme** voraus, aufgrund derer sie vermuten, dass mit einem neuen Wort eher ein ganzes Objekt als eines seiner Teile gemeint ist. Mit Bezug auf das oben genannte Beispiel bedeutet dies, dass die Kinder dazu aufgrund dieser Annahme vermuten, dass sich das neue Wort „Kaninchen“ eher auf das ganze Kaninchen statt auf seine Teile bezieht. Kinder erwarten zudem, dass Sachen nur eine einzige Bezeichnung bzw. nur einen einzigen Namen haben. Belege für diese Annahme lieferte eine Untersuchung mit drei Jahre alten Kindern, denen paarweise Objekte präsentiert wurden – und zwar immer ein bekanntes Objekt, von dem die Kinder die Bezeichnung kannten, zusammen mit einem unbekanntem Objekt, dessen Bezeichnung die Kinder nicht kannten. Wenn der Versuchsleiter die Kinder aufforderte: „Zeig mir das Blicke“, dann wählten die Kinder stets das Objekt aus, dessen Bezeichnung ihnen noch unbekannt war. Sie wendeten also die neue Bezeichnung auf das neue Objekt an. In weiteren Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass sich dieses Verhalten sogar bereits bei 13 Monate alten Kindern findet.

Zusätzlich zu ihrer generellen Tendenz, neue Wörter auf neue Objekte anzuwenden, achten Kinder auch aufmerksam auf den sozialen Kontext, in dem bestimmte Äußerungen gemacht werden, und suchen nach pragmatischen Hinweisen, die ihnen das Erlernen neuer Wörter erleichtern können. So geben Kinder beispielsweise acht, worauf sich die Aufmerksamkeit der Erwachsenen gerade richtet, und interpretieren dies als pragmatischen Hinweis, um die Bedeutung von Wörtern zu erschließen. In einem Experiment zeigte der Versuchsleiter 18 Monate alten Kindern zwei für sie neue Objekte und versteckte sie anschließend vor ihren Augen in zwei separaten Behältern. Als nächstes zeigte der Versuchsleiter in einen dieser Behälter und sagte: „Hier drin ist ein Modi“. Anschließend wurden beide Objekte wieder aus den Behältern genommen und den Kindern gegeben. Wenn die Kinder aufgefordert wurden, dem Versuchsleiter den „Modi“ zu geben, wählten sie stets dasjenige Objekt aus, auf das sich die Aufmerksamkeit des Versuchsleiters gerichtet hatte, als er sagte: „Hier drin ist ein Modi“. Um herauszufinden, worauf sich der für sie neue Begriff bezog, stützten sich die Kinder also auf die Beziehung zwischen der Richtung der Aufmerksamkeit des Versuchsleiters und seiner Äußerung, mit der er das neue Objekt bezeichnet hatte.

Ein weiterer pragmatischer Hinweis, auf den sich Kinder stützen, um die Bedeutung neuer Wörter zu erschließen, besteht in der **Intentionalität bzw. Zielgerichtetheit von Handlungen**. In einer amerikanischen Untersuchung mit

zweijährigen Kindern wendete sich der Versuchsleiter mit der Aufforderung an die Kinder: „Let’s dax Mickey Mouse“. Anschließend führte er zwei Handlungen mit einer Mickey-Maus-Puppe durch, von denen eine koordiniert und zielgerichtet wirkte und zudem nach Abschluss der Handlung mit dem Wort „So!“ kommentiert wurde, während die andere Handlung in einer unkoordinierten und willkürlich wirkenden Weise ausgeführt und mit dem Kommentar „Ooops!“ abgeschlossen wurde. Die Kinder interpretierten das neue Verb „dax“ so, dass es sich auf diejenige Handlung des Versuchsleiters bezog, die koordiniert und zielgerichtet wirkte. In ähnlicher Weise orientieren sich 18 Monate alte Kinder an den emotionalen Reaktionen Erwachsener, um die Bedeutung neuer Wörter zu erlernen. Nachdem in einem Experiment der Versuchsleiter geäußert hatte, er wolle jetzt den „Gazzer“ suchen, nahm er zunächst ein Objekt auf und legte es kurz darauf mit offensichtlichem Abscheu wieder fort. Daraufhin nahm er ein zweites Objekt auf und betrachtete es mit Wohlgefallen. Die Kinder schlossen daraus, dass es sich bei dem zweiten Objekt um den „Gazzer“ handelte.

Beim Erlernen neuer Wörter berücksichtigen Kinder auch den *sprachlichen Kontext*, in dem die neuen Wörter vorkommen, um deren Bedeutung zu erschließen. In einer Untersuchung konnte zum Beispiel nachgewiesen werden, dass die grammatische Form eines Wortes entscheidenden Einfluss darauf hat, wie es von dem Kind interpretiert wird. Den Kindern wurde in diesem Experiment ein Bild gezeigt, auf dem zwei Hände zu sehen waren, die eine Masse kneten, die sich in einem Behälter befand.

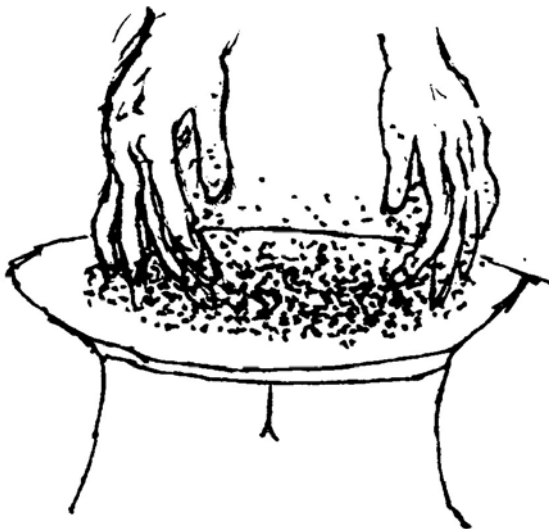


Abbildung III.1: Ist das „sibben“, „ein Sib“ oder „etwas Sib“?

Das Bild wurde der einen Gruppe von Kindern als „Sibben“ beschrieben, einer zweiten Gruppe als „ein Sib“ und einer dritten Gruppe als „etwas Sib“. Die Kinder interpretierten das neue Wort „Sib“ entsprechend als Bezeichnung für (a) eine Tätigkeit, (b) einen Behälter bzw. (c) ein Material – je nachdem, in welcher grammatischen Form (als Verb, als Substantiv mit bestimmtem Artikel, als Substantiv mit unbestimmtem Artikel) ihnen dieses Wort präsentiert wurde.

*Neuere Untersuchungen haben gezeigt, dass sich zwei bis drei Jahre alte Kinder auf die grammatische Kategorie neuer Wörter beziehen, um deren Bedeutung*

**herauszufinden.** Hörten die Kinder zum Beispiel jemanden über ein Objekt sagen: „Dies ist *ein Dax*“, dann interpretierten sie dieses Wort als Klassenbegriff bzw. als Prädikat, das sowohl auf das betreffende Objekt als auch auf alle anderen Objekte der betreffenden Klasse zutrifft. Wurde ihnen hingegen gesagt: „Dies ist Dax“, dann nahmen die Kinder an, dass sich das Wort „Dax“ auf eine Eigenschaft bezieht, die dem betreffenden Objekt zukommt. Kinder machen sich also bereits sehr früh die grammatischen Differenzierungen zwischen Wörtern unterschiedlicher Kategorien, wie Substantive und Adjektive, zunutze, um die verschiedenartigen Bedeutungen dieser Wörter zu erschließen. Aus dieser Einsicht ergibt sich die praktische Konsequenz, dass bei der Spracherziehung im Vorschulalter von Seiten der Erwachsenen auf sorgfältiges und grammatisch korrektes Sprechen geachtet werden muss, damit die Kinder in die Lage versetzt werden, die verschiedenen Bedeutungen neuer Wörter korrekt zu erschließen.

Wenn Kinder neue Substantive hören, dann erhöht sich ihre Aufmerksamkeit für Formeigenschaften – wahrscheinlich weil Formen ein guter Hinweis für die Klassenzugehörigkeit von Objekten sind. Kinder wenden einen neuen Begriff auf neue Objekte mit der gleichen Form an – auch dann, wenn sich diese Objekte hinsichtlich ihrer Größe, Farbe und Oberflächenbeschaffenheit deutlich voneinander unterscheiden. Hören Kinder zum Beispiel, dass ein U-förmiger hölzerner Block als „Dax“ bezeichnet wird, dann nehmen sie an, dass sich „Dax“ auch auf ein U-förmiges Objekt aus blauem Fell oder aus rotem Draht bezieht – aber nicht auf einen hölzernen Block von anderer Form.

Kinder verwenden noch eine weitere Strategie, um die Bedeutung von Wörtern zu erschließen. **Sie orientieren sich nämlich auch an der grammatischen Struktur ganzer Sätze.** Bei einer Untersuchung dieser Strategie wurde zwei Jahre alten Kindern ein Video vorgeführt, in dem zu sehen war, wie eine Ente ihre linke Hand benutzte, um einen Hasen nach vorne zu drücken, während beide Tiere mit ihrem rechten Arm kreisförmige Bewegungen ausführten.

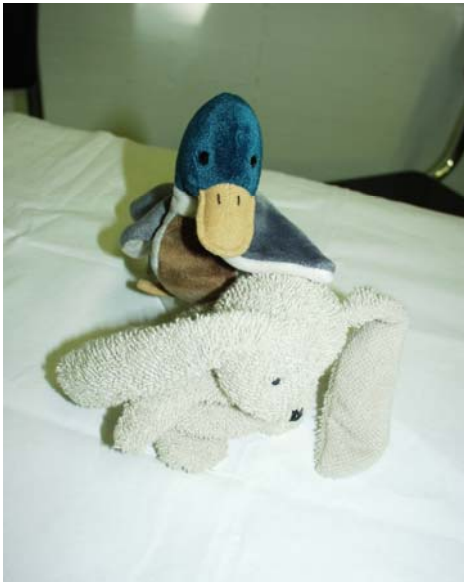


Abbildung III.2: Muggelt die Ente den Hasen oder muggeln beide?

Während sie diese Szene betrachteten, wurde einigen Kindern gesagt: „Die Ente muggelt den Hasen“; den übrigen Kindern wurde mitgeteilt: „Die Ente und der Hase muggeln“. Alle Kinder sahen sich danach zwei parallel laufende Videos an. Das eine zeigte die Ente beim Niederdrücken des Hasen, und das andere zeigte beide Tiere beim kreisförmigen Bewegen ihres rechten Arms. Als anschließend die Kinder aufgefordert wurden zu sagen, was „muggeln“ bedeutet, blickten beide Gruppen von Kindern jeweils auf das Video mit dem Ereignis, das der Syntax der Aussage entsprach, die sie beim Anschauen des ersten Videos gehört hatten. Diejenigen Kinder, die den ersten Satz gehört hatten, verstanden unter „Muggeln“ das, was die Ente beim Niederdrücken des Hasen machte. Hingegen verstanden die Kinder der anderen Gruppe, die den zweiten Satz gehört hatten, unter „Muggeln“ das, was beide Tiere machten, nämlich mit dem rechten Arm kreisen. Folglich kamen die Kinder je nach der grammatischen Struktur der Sätze, in denen ihnen das neue Wort präsentiert wurde, zu verschiedenen Interpretationen eines neuen Wortes.

Bereits Kleinkinder verfügen also über eine ganze Reihe verschiedener Strategien zum Erlernen neuer Wörter als Bezeichnungen für Objekte. Interessanterweise fällt es kleinen Kindern gleichermaßen leicht, auch nicht-sprachliche Symbole für Gegenstände zu erlernen. Kinder zwischen 13 und 18 Monaten beziehen nämlich Gesten und nicht-sprachliche Laute ebenso schnell auf Objekte wie Wörter. Erst später, also mit 20 bis 26 Monaten, akzeptieren sie nur noch Wörter als Bezeichnungen für Objekte.

#### **2.4 Das Zusammenstellen von Wörtern zu Sätzen**

Kinder machen einen wichtigen Schritt in ihrer Sprachentwicklung, wenn sie die Fähigkeit erlangen, Wörter zu Sätzen zu kombinieren. Dies versetzt sie in die Lage, zusehends komplexere Ideen auszudrücken. Durch den Umfang, in dem Kinder eine Syntax entwickeln, und die Geschwindigkeit, mit der sie dies tun, unterscheiden sich ihre Sprachfähigkeiten am deutlichsten von denen nicht-menschlicher Primaten. Die meisten Kinder beginnen gegen Ende des zweiten Lebensjahres damit, Wörter zu einfachen Sätzen zusammen zu stellen. Aber bereits deutlich früher wissen sie, wie sie Wörter korrekt miteinander kombinieren können. Ein Hinweis darauf ist zum Beispiel, dass 12 bis 14 Monate alte Kleinkinder Sätzen mit einer normalen, korrekten Satzstruktur deutlich länger zuhören als Sätzen mit einer nach dem Zufallsprinzip erzeugten Struktur. Hinzu kommt, dass bereits 13 bis 15 Monate alte Kinder verstehen, dass Wörter in Kombination mit anderen Wörtern eine andere Bedeutung haben, als wenn sie allein stehen. Dies wurde unter anderem durch das folgende Experiment gezeigt: Den Kindern wurden auf Video zwei Szenen vorgespielt: In der einen Szene küsste eine Frau einige Schlüssel, während sie dabei einen Ball hochhielt; in der anderen hielt sie die Schlüssel hoch, während sie den Ball küsste. In beiden Szenen waren also dieselben Elemente (Schlüssel, Ball, Küssen) enthalten. Dennoch blickten die Kinder, wenn sie die Sätze: „Sie küsst die Schlüssel“ und: „Sie küsst den Ball“ hörten, überwiegend zu der richtigen Szene auf dem Video hin.

Die ersten Sätze von Kindern sind meistens Kombinationen aus zwei Wörtern. So werden beispielsweise aus den separaten Äußerungen „mehr“, „Saft“ und „Trinken“ Zwei-Wort-Sätze wie „Mehr Saft“ und „Saft Trinken“. Diese Zwei-Wort-Sprechweise wird auch als *telegrafischer Sprachstil* bezeichnet, weil unwesentliche Sprachelemente ebenso wie bei Telegrammen einfach fortgelassen werden. Betrachten wir die folgenden gängigen Beispiele solche Zwei-Wort-Sätze: „Mami Tee“, „Papi Reiten“, „Große

Hosen“, etc. Diesen primitiven Sätzen fehlen viele Bestandteile, die in den Sätzen Erwachsener normalerweise enthalten sind, etwa Funktionswörter („ein“, „der“, „in“), Hilfsverben („ist“, „war“, „wird“) und Wortendungen. Dieser telegrafische Sprachstil von Kindern findet sich in verschiedenen Sprachen wie Deutsch, Englisch und Finnisch.

Kleinkinder, die Sprachen lernen, in denen die Wortstellung für die Bedeutung entscheidend ist, bilden einfache Sätze, bei denen die Reihenfolge der Wörter dem gleichen Muster folgt. So werden sie zum Beispiel „Keks essen“ sagen, nicht aber „essen Keks“. Dieses Verhalten wird häufig so interpretiert, dass bereits Kleinkinder – ebenso wie Erwachsene – über grammatische Regeln verfügen, die es ihnen ermöglichen, in Sätzen stets die korrekte Reihenfolge der Wörter zu beachten.

Während einige Kinder noch eine ganze Weile damit fortfahren, Zwei-Wort-Sätze zu bilden, gehen andere Kinder recht schnell zu Drei-Wort-Sätzen und längeren Kombinationen von Wörtern über. Die Länge der Äußerungen von Kindern wächst unter anderem deswegen an, weil sie anfangen, systematisch Ausdrücke in ihre Sätze einzubeziehen, die in ihren telegrammartigen Äußerungen noch fehlten. Betrachten wir den Satz eines Zweijährigen: „Ich esse Kekse“. Noch kurze Zeit vorher mag er, um die gleiche Idee zu kommunizieren, den Satz: „Kekse Essen“ benutzt haben. Im neuen Satz hingegen sind zwei zusätzliche Elemente enthalten: das Personalpronomen „ich“ und die korrekte Form des Verbs „essen“.

Im allgemeinen sind Kinder mit 2 ½ Jahren in der Lage, Vier-Wort-Sätze zu produzieren. Sie beginnen dann auch damit, komplexere Sätze mit mehr als einem Kasus zu bilden, wie zum Beispiel: „Kann ich es machen, wenn ich nach Hause komme?“ oder: „Ich möchte diese Puppe, weil sie groß ist“. In diesem Entwicklungsabschnitt steigern Kinder das Niveau ihrer Sprachleistungen stetig, weil sie regelmäßig und aktiv ihr Sprachvermögen üben. So üben viele Kleinkinder das Sprechen oft vor dem Einschlafen mit Sprechübungen wie den folgenden:

Ball.

Gelber Ball.

Sieh den gelben Ball.

Die Annahme, dass Kinder bereits früh ein implizites Verständnis der grammatischen Regeln ihrer Muttersprache erwerben, stützt sich darauf, dass sie schon früh die verschiedenen Endungen von Wörtern einüben. Mit dem folgenden Experiment wurde gezeigt, dass bereits vier Jahre alte Kinder mit Englisch als Muttersprache über ein Verständnis der grammatischen Regeln der Pluralbildung verfügen. Den Kindern wurde zunächst ein Bild gezeigt, auf dem ein Fantasiewesen zu sehen war, und es wurde ihnen gesagt, dass es sich dabei um ein „Wug“ handelt. Anschließend bekamen sie ein Bild mit zwei dieser Wesen gezeigt und wurden gefragt, was das für Wesen wären. Die meisten Kinder antworteten „Wugs“ und zeigten damit, dass sie bereits in der Lage waren, den (regelmäßigen englischen) Plural korrekt zu bilden.

Weitere Belege dafür, dass Kinder bereits früh grammatische Regeln lernen, liefert ihr Umgang mit Wörtern, die nicht unter die normalen Regeln fallen. Untersuchungen mit englischsprachigen Kindern haben gezeigt, dass sie den Plural von „man“ und die Vergangenheitsform von „go“ zunächst korrekt bilden und „men“ bzw. „went“ sagen.

Allerdings kommt es häufig vor, dass sie nach einer Weile, wenn sie die grammatischen Standardregeln für die regulären Fälle gelernt haben, eine Übergeneralisierung

vollziehen, indem sie auch die unregelmäßigen Fälle als regelmäßige Fälle behandeln und „mans“ statt „men“ sowie „goed“ statt „went“ sagen. Diese Art Fehler, die durch **Überregularisierung** zustande kommt, führte zu der Annahme des **Regel-und-Gedächtnis-Modells des Grammatikverstehens** von Kindern. Nach diesem Modell treten Überregularisierungsfehler dann auf, wenn die Kinder die korrekten unregelmäßigen Formen vergessen haben und diese Lücke damit auffüllen, dass sie einfach die Regeln für die regelmäßigen Fälle anwenden. Eine für die deutsche Sprache typische Überregularisierung ist z.B. „ich habe geschlafen“ statt „ich habe geschlafen“ zu sagen. Je mehr Übung die Kinder im Sprachgebrauch haben und je mehr unregelmäßige Formen daher in ihrem Gedächtnis abgespeichert sind, umso seltener machen sie Fehler, die durch Überregularisierung zustande kommen.

Viele syntaktische Regeln enthalten mehrere Komponenten, und die Kinder erlernen sie Schritt für Schritt. Ein Beispiel ist die Verneinung. Das Wort „nicht“ ist für Kleinkinder ein nützliches sprachliches Instrument, und es kommt dementsprechend häufig zunächst in ihren Ein-Wort-Äußerungen vor. Etwas später wird es dann mit einem oder zwei Wörtern kombiniert, um eine ganze Reihe verschiedener Bedeutungen auszudrücken – wie zum Beispiel die Weigerung, etwas Bestimmtes zu tun („Nicht baden“), das Fehlen von etwas („nicht mehr Kekse“) sowie die Verneinung, dass etwas der Fall ist („Nicht Sonne scheint“). In den verneinenden Aussagen von Kleinkindern tritt das Wort „nicht“ häufig am Satzanfang auf („Nicht will Saft“). Erst im Alter von ungefähr drei Jahren beginnen Kinder, die Verneinung korrekt in den Satz einzubauen und Hilfsverben zu verwenden. „Nicht baden“ wird dann zu: „Ich will nicht baden!“.

Eine weitere grammatische Regel, die Kinder bereits früh im Vorschulalter erlernen und dann Schritt für Schritt meistern, ist die interrogative Form, die es ihnen ermöglicht, gezielt Fragen zu stellen und von anderen die Information zu erhalten, die sie interessiert. Anfangs stellen Kinder Fragen noch so, dass sie lediglich am Satzende die Stimme heben, etwa: „Ich werde mit dem Zug fahren?“ Ungefähr im Alter von zwei Jahren beginnen Kinder dann, sogenannte W-Fragen zu stellen (was, warum, wann, wo, woher, etc.). Dabei drücken sie anfangs die Frage noch oft lediglich dadurch aus, dass sie das W-Wort einem Behauptungssatz voranstellen, zum Beispiel: „Warum ich habe keinen Hund?“ Erst später lernen sie dann, Subjekt und Verb umzustellen und korrekt zu fragen: „Warum habe ich keinen Hund?“

Die Eltern spielen für die grammatische Entwicklung der Kinder eine wichtige Rolle. Natürlich ist die Sprache der Eltern für die Kinder das Modell grammatisch korrekten Sprechens. Hinzu kommt, dass es die grammatische Entwicklung der Kinder fördert, wenn die Eltern die unvollständigen Äußerungen ihrer Kinder regelmäßig vervollständigen und zum Beispiel auf die Äußerung des Kindes: „Nicht Bett“ mit: „Du möchtest nicht ins Bett gehen, nicht wahr?“ reagieren. Ebenso wichtig ist es für die Sprachentwicklung, dass die Eltern die zahlreichen Sprachfehler der Kinder korrigieren. Zu lernen, wie man Wörter zu verständlichen Sätzen kombiniert, ist die Krönung des Spracherwerbs. Wahrscheinlich ist kein Aspekt der Sprachentwicklung erstaunlicher als der rasche Fortschritt, den Kinder in wenigen Jahren von einfachen Zwei-Wort-Sätzen zu komplexen Sätzen machen, die den grammatischen Regeln entsprechen. Selbst viele Fehler der Kinder – wie die oben dargestellte Überregularisierung – weisen auf ein zugrundeliegendes Verständnis der grammatischen Strukturen ihrer Muttersprache hin.

## 2.5 Fähigkeiten zum Führen von Gesprächen

Kinder sind sehr daran interessiert, an Gesprächen mit anderen Personen teilzunehmen, aber ihre Konversationsfähigkeiten hinken zunächst noch deutlich hinter ihrer Sprachfähigkeit her. Dies liegt daran, dass zum einen ein nicht unbeträchtlicher Teil ihrer Rede nicht an andere Personen, sondern an sie selber gerichtet ist. Kleinkinder sprechen nämlich oft zu sich selber, um ihre Handlungen zu organisieren. So sprechen sie zum Beispiel oft mit sich selber, wenn sie alleine spielen. Aber auch die Hälfte ihrer Äußerungen in Gegenwart anderer Personen sind an sie selber gerichtet. Schrittweise wird dieses Sprechen mit sich selber dann als Denken internalisiert, so dass die Kinder ihre Handlungen auch ohne dieses selbstbezogene Sprechen organisieren können.

Wie bereits im vorangegangenen Kapitel angemerkt wurde, neigen Vorschulkinder dazu, beim Sprechen egozentrisches Verhalten zu zeigen. Das heißt, sie haben Schwierigkeiten damit, sich in andere Personen hineinzuversetzen. Piaget hat daher die Konversation von Vorschulkindern mit Gleichaltrigen als „*kollektive Monologe*“ bezeichnet, weil die Inhalte ihrer Äußerungen wenig miteinander zu tun haben bzw. sich kaum aufeinander beziehen. Zwar kommen solche Kommunikationsmuster auch im späteren Leben, aber im Allgemeinen kann man monologisches Verhalten doch besser kontrollieren.

Die Fähigkeit der Kinder, Gespräche zu führen (also Konversation zu machen), entwickelt sich schrittweise. Dies konnte in einer kleinen Längsschnittuntersuchung mit zur Gesprächsführung von Kindern in der Zeitspanne von 21 und 36 Monate alt waren, zeigte sich dies. So verdoppelte sich in dieser Zeitspanne der Anteil der Äußerungen der Kindes, die sich auf das gleiche Thema wie der Gesprächspartner bezogen. Im Gegenzug verringerte sich der Anteil der Äußerungen, die mit dem Thema des anderen Gesprächspartners nichts zu tun hatten. Allerdings haben Kinder in diesem Alter noch größere Schwierigkeiten, mit Gleichaltrigen zusammenhängend über ein Thema zu sprechen, als mit Erwachsenen. Es zeigt sich aber, dass die Gespräche zwischen Vorschulkindern untereinander deutlich länger und komplexer sind, wenn sie zum Beispiel „Familie“ spielen und sich dabei auf eine ganze Reihe ihnen gut bekannter alltäglicher Routinen wie dem Kochen von Mahlzeiten etc. stützen können.

Ein wichtiger Aspekt der Konversation von Vorschulkindern, der sich im Zuge ihrer Entwicklung deutlich verändert, ist die Häufigkeit, mit der sie über vergangene Ereignisse sprechen. Während drei Jahre alte Kinder bestenfalls gelegentlich kurze Bemerkungen über die Vergangenheit in ihre Konversation einstreuen, sind fünf Jahre alte Kinder bereits in der Lage, kohärente Beschreibungen vergangener Ereignisse zu liefern. Ein Grund für diese Leistung ist, dass Kinder in diesem Alter die Grundstruktur von Berichten bzw. Geschichten besser verstehen. Untersuchungen haben zudem gezeigt, dass Eltern die Fähigkeit ihrer Kinder, kohärente Berichte über Vergangenes zu liefern, fördern können, indem sie die Kinder durch Nachfragen anregen, ihre Behauptungen näher auszuführen bzw. ausführlicher zu schildern.

Ab fünf bis sechs Jahren entwickeln sich die Sprachfähigkeiten von Kindern zwar weiter, aber die Lernfortschritte sind eher kontinuierlich und nicht mehr so dramatisch wie in dem vorhergehenden Entwicklungsabschnitt. Natürlich entwickelt sich die Fähigkeit zur Gesprächsführung, die im Vorschulalter so rapide zunimmt, auch ab dem fünften bzw. sechsten Lebensjahr stetig weiter.



Hinzu kommt, dass die Länge ihrer Dialoge über ein einziges Thema deutlich zunimmt. Schulkinder werden zudem zusehends fähig, über die Sprache zu reflektieren und sie zu analysieren, und sie meistern immer mehr grammatische Konstruktionen, wie zum Beispiel das Passiv. Infolge ihres in wachsendem Maße reflektierten Sprachverständnisses verstehen Schulkinder auch immer besser, dass zahlreiche Wörter mehrere Bedeutungen besitzen. Sie erwerben zudem die Fähigkeit, die Bedeutung eines Wortes durch bloßes Hören seiner Definition zu verstehen. Dies hilft ihnen sehr dabei, ihr passives Vokabular rasch zu erweitern – von den 10.000 Wörtern, die der durchschnittliche Sechsjährige versteht, zu den ungefähr 40.000 Wörtern, die Kinder in der fünften Klasse kennen, bis zu den über 150.000 Wörtern, die Jugendliche im allgemeinen am Ende der Oberstufe verstehen können. Im Alter von fünf bis sechs Jahren haben Kinder im Zuge ihrer Sprachentwicklung also schon beachtliche Fähigkeiten erlangt: Sie können die Sprachlaute produzieren, aus denen sich ihre Sprache zusammensetzt (*phonologische Entwicklung*); sie sind in der Lage, die Bedeutung von Tausenden von Wörtern zu verstehen (*semantische Entwicklung*); sie beherrschen zudem die grammatische Struktur ihrer Sprache (*syntaktische Entwicklung*). Und sie haben viel darüber gelernt, welche Äußerungen in welchen Kontexten angemessen und passend sind, und sind in der Lage, Gespräche mit anderen Personen über ein Thema zu führen (*pragmatische Entwicklung*).

## **2.6 Die sensible Phase für den Spracherwerb**

Mit der Entwicklung der Hörfähigkeit entwickelt sich auch die Fähigkeit zur Unterscheidung von Sprachlauten. Es gibt ca. 200 Laute, die Menschen im Prinzip produzieren und durch ihr Hörsystem unterscheiden können. Jede einzelne Sprache benutzt aber nur 30 bis 40 dieser Laute. Bereits wenige Tage alte Säuglinge scheinen die phonetische Grundstruktur ihrer Umgebungssprache zu erfassen: Sie reagieren unterschiedlich auf den Input der Umgebungssprache und einer Fremdsprache. Im ersten Lebensjahr nimmt die Sensibilität für die Laute der Umgebungssprache rapide zu, während die Sensibilität für die Laute anderer Sprachen abnimmt. Je älter ein Kind wird, umso schwerer fällt es ihm, Laute, die in der eigenen Sprache nicht vorkommen, zu erkennen und zu produzieren. Der Akzent, der sich beim Erlernen einer Zweitsprache mit zunehmendem Alter einstellt, hängt damit zusammen, dass man bereits im ersten Lebensjahr die Sensibilität und Kompetenz für 80% der Sprachlaute verliert. Könnte man diesen Verlust, der zweifellos den späteren Erwerb von Fremdsprachen erschwert, verhindern, indem man bereits Säuglinge in der Wiege Tonbänder mit gesprochenen Texten anderer Sprachen vorspielt, oder zumindest sieben Betreuer mit unterschiedlichen Muttersprachen anheuert, damit jeden Tag in einer anderen Sprache interagiert werden kann? Davon wäre eher abzuraten. Das Kind könnte vielleicht tatsächlich jeden Sprachlaut aktiv und passiv differenzieren, aber wahrscheinlich würde es nie eine Sprache lernen. Menschen werden vor allen Dingen durch Spezialisierung kompetent, und diese sind nicht zum Nulltarif zu haben. Kann man aber dennoch handlungsrelevante Erkenntnisse aus den Ergebnissen zur Verarbeitung von Sprachlauten im ersten Lebensjahr ableiten? Man sollte auf jeden Fall Vorsorgeuntersuchungen im Säuglingsalter eine grosse Bedeutung bei. Kinder, die in ihrem ersten Lebensjahr dauerhaft oder vorübergehend in ihrer Hörfähigkeit eingeschränkt sind - z.B. durch eine Mittelohrentzündung – können diese Sensibilität für die Laute der Umgebungssprache

nicht entwickeln und benötigen besondere Förderung, damit ihre Sprachkompetenzen nicht dauerhaft eingeschränkt werden.

Zahlreiche Untersuchungen stützen die Vermutung, dass die ersten fünf Jahre der Kindheit eine sensible Phase für den Spracherwerb darstellen. Während in dieser Zeit die Muttersprache normalerweise schnell und korrekt erlernt wird, bereitet das Lernen einer Sprache in der Zeit danach deutlich mehr Schwierigkeiten und ist auch nicht mehr so erfolgreich wie in der sensiblen Phase. Diese Hypothese wird vor allem durch solche Fälle gestützt, in denen Kinder in der genannten Phase bis zum fünften Lebensjahr keinerlei Gelegenheit zur sprachlichen Kommunikation mit anderen Menschen hatten und auch danach keine Sprache mehr richtig erlernten.

Der berühmteste Fall ist der vom „wilden Kind“ Victor, das offenbar von seinen Eltern ausgesetzt wurde und ungefähr bis zum Alter von zwölf Jahren ganz allein in den Wäldern nahe Aveyron (Frankreich) lebte. Als Victor 1800 entdeckt wurde, war er nackt, lief zeitweise auf allen Vieren und fürchtete sich vor Menschen. Obwohl er verschiedene Laute von sich geben konnte, verfügte er über keinerlei Sprache. Nach einigen Jahren intensiven sozialen und sprachlichen Trainings konnte sich Victor zwar im allgemeinen einigermaßen situationsgerecht verhalten, aber er lernte niemals mehr als einige wenige Wörter.

Ein modernes „wildes Kind“, dem der Name „Genie“ gegeben wurde, fand man 1970 in den USA. Seit dem Alter von ungefähr 18 Monaten bis zum Zeitpunkt, an dem sie mit dreizehn Jahren aufgefunden wurde, lebte Genie allein eingeschlossen in einem Raum – Tag und Nacht angebunden. Während der Zeit ihrer Gefangenschaft sprach niemand mit ihr. Wenn ihr Vater ihr etwas zu essen und zu trinken brachte, knurrte er sie dabei an wie ein Tier. Zum Zeitpunkt ihrer Befreiung war sie in ihrer physischen, motorischen und emotionalen Entwicklung zurückgeblieben, und sie war nicht in der Lage zu sprechen. Nach intensivem Training machte ihre Entwicklung zwar ein paar Fortschritte, aber ihre Sprachfähigkeit kam nie über das Niveau eines Kleinkindes hinaus.

Stützen diese beiden ungewöhnlichen Fälle tatsächlich die oben genannte Hypothese von der sensiblen Phase der Sprachentwicklung? Es ist schwer, dies mit Sicherheit zu entscheiden. Es könnte nämlich sein, dass Victor bereits von klein auf geistig zurückgeblieben war und aus diesem Grund überhaupt erst ausgesetzt wurde. Genies Unvermögen, eine Sprache zu erlernen, mag wiederum auf die bizarre und inhumane Behandlung zurückzuführen sein, die sie während ihrer Gefangenschaft erdulden musste, sowie auf den Entzug jeglicher Kommunikation während dieser Zeit.

Andere Forschungsrichtungen liefern eindeutiger Belege zur Stützung der Hypothese, dass es eine sensible Phase in der Sprachentwicklung gibt. Hirnverletzungen führen im Erwachsenenalter mit größerer Wahrscheinlichkeit als in der Kindheit zur Beeinträchtigung oder sogar zum Verlust des Sprachvermögens, weil beim kindlichen Gehirn andere Bereiche noch in der Lage sind, die Funktionen der geschädigten Teile zu übernehmen. Weitere Belege stammen aus Untersuchungen mit Erwachsenen, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten Fremdsprachen erlernten. Demnach unterscheiden sich die Muster der zerebralen Organisation bei Personen, die eine zweite Sprache eher spät erlernten, von den Organisationsmustern derjenigen Erwachsenen, die eine zweite Sprache früher erwarben. Bei Personen, die eine zweite Sprache mit vier Jahren oder später lernten, sind auf der linken Hirnhälfte weniger Aktivitäten zu sehen, als bei

Personen, die eine zweite Sprache zu einem früheren Zeitpunkt erlernten. Die linke Gehirnhälfte ist beim Umgang mit der Muttersprache besonders stark beteiligt.

In einer anderen Studie wurde das Sprachverstehen des Englischen bei japanischen und koreanischen Immigranten untersucht, die in die USA eingereist waren und als Kinder bzw. als Erwachsene begonnen hatten, Englisch zu lernen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen, dass der Umfang ihrer Kenntnisse der englischen Grammatik wesentlich davon abhängig ist, in welchem Alter sie mit dem Lernen begonnen hatten. Am besten schnitten nämlich diejenigen Personen ab, die noch vor dem siebten Lebensjahr mit dem Erlernen des Englischen begonnen hatten. Ähnliche Ergebnisse liegen für den Erwerb der Zeichensprache durch taube Personen vor: Je früher mit dem Lernen der Zeichensprache begonnen wurde, umso besser waren die Lernresultate. Um zu erklären, warum Kinder bis zum siebten Lebensjahr im allgemeinen besser Sprachen lernen können als Erwachsene, wurde die Hypothese aufgestellt, dass sich Kinder aufgrund der Begrenzung ihrer Wahrnehmungs- und Gedächtniskapazitäten mithilfe einer „*Weniger-ist-mehr*“-Strategie einfach auf kürzere Äußerungen aus der gehörten Sprache konzentrieren. Da es bedeutend einfacher ist, die Struktur solcher kürzeren Äußerungen auszumachen als die Struktur längerer Sätze, führt diese Strategie dazu, dass Kindern das Analysieren sprachlicher Strukturen und damit der Erwerb einer neuen Sprache leichter fällt als Erwachsenen. Diese Hinweise auf das Vorliegen einer kritischen Phase für den Spracherwerb haben praktische Implikationen. Erstens sollten taube Kinder so früh wie möglich mit der Zeichensprache vertraut gemacht werden. Zweitens sollten Möglichkeiten zum spontanen Zweitspracherwerb genutzt werden. Wenn in einer Familie Personen verschiedene Muttersprachen sprechen, sollten diese konsequent mit den Kindern verschiedene Sprachen sprechen. Auch in geographischen Regionen, in denen verschiedene Sprachen gesprochen werden, sollte man schon in Kindergärten Mehrsprachigkeit anregen.

## **2.7 Zwei Sprachen sind besser als eine – unter bestimmten Bedingungen**

Das Thema der Zweisprachigkeit hat in den letzten Jahren viel Aufmerksamkeit auf sich gezogen, weil eine wachsende Anzahl von Kindern zweisprachig aufwachsen. Tatsächlich kommt nahezu die Hälfte aller Kinder regelmäßig mit zwei Sprachen in Kontakt. Einige Kinder beginnen bereits sehr früh, zwei Sprachen zu erlernen, einfach weil ihre Eltern zwei verschiedene Sprachen sprechen. Führt dies dazu, dass die Kinder das Vokabular und die Regeln der verschiedenen Sprachen durcheinander bringen, und wird dadurch der Spracherwerb für sie erschwert? Verschiedenen Untersuchungen zufolge ist dies nicht der Fall. Im allgemeinen verhält es sich so, dass Kinder, die zwei Sprachen gleichzeitig lernen, diese beiden Sprachen nicht durcheinander bringen. Vielmehr entwickeln sie zwei voneinander weitgehend unabhängige sprachliche Systeme. Zum Beispiel kommt es kaum vor, dass sie das phonologische System der einen Sprache verwenden, um die Ausdrücke der anderen Sprache zu artikulieren. Auch wenn es gelegentlich vorkommt, dass ein Wort der einen Sprache in einen Satz der anderen Sprache eingebaut wird, sind die Kinder im allgemeinen in der Lage, die grammatischen Regeln der beiden Sprachen klar auseinander zu halten. Der Erwerb von zwei Sprachen ist natürlich aufwendiger als das Erlernen nur einer Sprache, weshalb zweisprachig aufwachsende Kinder in ihrer sprachlichen Entwicklung im Vergleich zu anderen Kindern, die nur eine Sprache lernen, leicht verlangsamt sind. Trotzdem stimmen die

sprachlichen Entwicklungen ein- und zweisprachig aufwachsender Kinder weitgehend überein. Hinzu kommt, dass die Zweisprachigkeit durchaus kognitive Vorteile mit sich bringt. Kinder, die zwei Sprachen beherrschen, schneiden nämlich in einer ganzen Reihe von kognitiven Tests deutlich besser ab als Kinder, die nur eine Sprache sprechen. Die Vorteile der Zweisprachigkeit kompensieren daher deutlich ihre leichten Nachteile.

***Allerdings sollte der Erwerb der Zweitsprache nicht mit dem Erwerb von Fremdsprachen durch Instruktion verwechselt werden.*** Der Fremdsprachenunterricht in der Schule läuft ganz anders ab, als der spontane Zweitspracherwerb in einer mehrsprachigen Umgebung. Es darf bezweifelt werden, dass in einem ansonsten rein deutschsprachigen Kindergarten gravierende Vorteile von einem zweistündigen Englischunterricht zu erwarten sind.

Es wird derzeit kontrovers darüber diskutiert, ab welchem Alter mit dem Fremdsprachenunterricht in der Schule begonnen werden sollte. Auf der einen Seite wird die Auffassung vertreten, man solle die Kinder nur in einer einzigen Sprache unterrichten, damit sie deren Grammatik und Vokabular in kurzer Zeit perfekt beherrschen. Auf der anderen Seite wird dafür argumentiert, die Kinder zunächst in ihrer Muttersprache in einfachen Themen zu unterrichten und anschließend schrittweise den Anteil der Unterrichtseinheiten zu erhöhen, die in einer Fremdsprache unterrichtet werden. Für diese Auffassung spricht erstens, dass Kinder auch einfache Themen nicht richtig erfassen, wenn sie in einer Sprache unterrichtet werden, die sie noch nicht sicher beherrschen; und zweitens, dass Kinder die zweite Sprache mit größerer Lernbereitschaft, aktiver und mit weniger Frustration und Langeweile erlernen, wenn sie in den allgemeinen Unterricht integriert wird. Mit dieser Lehrmethode kann auch der Entwicklung vorgebeugt werden, dass Kinder letztlich beide Sprachen nicht richtig beherrschen.

Wenn es sich im natürlichen Umfeld der Kinder die Möglichkeit zum Erwerb einer zweiten Sprache ergibt, dann spricht vieles dafür, dies zu unterstützen. Wenn sich die Einbettung des Spracherwerbs in den natürlichen Kontext nicht ergibt, sondern der Zweitspracherwerb instruktiv erfolgen muss, dann kann man sich bisher auf keinen wissenschaftlichen Befund stützen, dem zufolge eine Investition in frühen Fremdsprachenunterricht einen größeren Benefit bringt als eine im späteren Leben erfolgte Investition.

## **Literatur**

- Alison M. Gopnik, Andrew N. Meltzoff (2001) *The Scientist in the Crib: What Early Learning Tells Us about the Mind*. Verlag: HarperCollins Publishers
- Ashley, J., & Tomasello, M. (1998). Cooperative problem solving and teaching in preschoolers. *Social Development*, 7, 143-163.
- Astington, J. W., & Pelletier, J. (1996). The language of mind: Its role in teaching and learning. In D. R. Olson & N. Torrance (Eds.), *The handbook of education and human development* (pp. 593-620). Oxford: Blackwell.
- Baillargeon, R. (1987). Object permanence in 3.5- and 4.5-month-old infants. *Developmental Psychology*, 23, 655-664.

- Barnett, S. M., & Ceci, S. J. (2002). When and where do we apply what we learn?: A taxonomy for far transfer. *Psychological Bulletin*, 128(4), 612-637.
- Baroody, A. J., Lai, M.-L., & Mix, K. S. (in press). The development of number and operation sense in early childhood. In O. Saracho & B. Spodek (Eds.), *Handbook of research on the education of young children*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Bialystock, E. (1999). Cognitive complexity and attentional control in the bilingual mind. *Child Development*, 70(3), 636-644.
- Bjorklund, D. F., & Bering, J. M. (2000). The evolved child. Applying evolutionary developmental psychology to modern schooling. *Learning & Individual Differences*, 12(4), 347-373.
- Blackmore, S.-J., & Frith, U. (2005). *The learning brain: lessons for education*. Malden, MA: Blackwell.
- Bloom, P., & Markson, L. (1998). Intention and analogy in children's naming of pictorial representations. *Psychological Science*, 9, 200-204.
- Bock J, Braun K (1998) Differential emotional experience leads to pruning of dendritic spines in the forebrain of domestic chicks. *Neural Plasticity* 6, 17-27
- Bock J, Groß M, Becker S, Braun K (2005) Experience-induced changes of dendritic spine densities in the prefrontal and sensory cortex: Correlation with developmental time windows. *Cerebral Cortex*, 15: 802-808.
- Bock J., Braun K. (1999) Blockade of N-methyl-D-aspartate receptor activation suppresses learning-induced synaptic elimination. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 96(5):2485-2490
- Braun K (1998) Plastizität der Gehirnbioogie bei frühkindlichen Lern- und Erfahrungsprozessen: Relevanz für die Entstehung psychischer Erkrankungen. In: Im Spannungsfeld zwischen Generalisierung und Integration - Perspektiven der Psychiatrie, Psychotherapie und Nervenheilkunde. Hrsg.: W. Gaebel, P. Falkai. Springer Verlag Wien, New York, 4-9
- Braun K, Helmeke C (2004) Neurobiologische Grundlagen der Bindung aus der tierexperimentellen Forschung. Kapitel in: „Frühe Bindung. Entstehung und Entwicklung“ L Ahnert (Hrsg.) Ernst Reinhardt Verlag, München. p 281-296
- Braun K, Meier M (2006) Wie Gehirne laufen lernen oder: „Früh übt sich, wer ein Meister werden will!“ Gedanken zu einer interdisziplinären Forschungsrichtung „Neuropädagogik“. In: Neurodidaktik. Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen“ U. Herrmann (Hrsg.), Beltz Verlag Weinheim/Basel, Seite 97-110
- Brown, J. R., & Dunn, J. (1996). Continuities in emotion understanding from three to six
- Brown, R. (1957). Linguistic determinism and the part of speech. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, 55, 1-5.
- Bruer, J. T. (1999). *The myth of the first three years: An understanding of early brain development and lifelong learning*. New York: The Free Press.
- Bullock, M., & Ziegler, A. (1999). Scientific reasoning: Developmental and individual differences. In F. E. Weinert & W. Schneider (Eds.), *Individual development from 3 to 12* (pp. 38-54). Cambridge: Cambridge University Press.
- Callaghan, T. C. (1999). Early understanding and production of graphic symbols. *Child Development*, 70, 1314-1324.

- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: MIT Press (original work published 1996).
- Carlson, S. M., Davis, A. C., & Leach, J. G. (2005). Less is more. Executive function and symbolic representation in preschool children. *Psychological Science*, 16 (8), 609 – 616.
- Carlson, S. M., Wong, A., Lemke, M., & Cosser, C. (2005). Gesture as a window on children's beginning understanding of false belief. *Child Development*, 76 (1), 73 – 86.
- Chi, M. T. H., & Koeske, R. D. (1983). Network representation of a child's dinosaur knowledge. *Developmental Psychology*, 13(1), 29-39.
- Christian, K., Bachnan, H. J., & Morrison, F. J. (2001). Schooling and cognitive development. In R. J. Sternberg & E. L. Grigorenko (Eds.), *Environmental effects on cognitive abilities* (pp. 287-335). *Cognitive Psychology*, 5, 29-46.
- Damasio A (2006) *Descartes' Error: Emotion, Reason and the Human Brain*. Vintage Verlag
- Dehaene, S. (1997). *The number sense*. New York, Cambridge (UK): Oxford University Press, Penguin press.
- DeLoache, J. S. (2000). Dual representation and young children's use of scale models. *Child Development*, 71, 329-338.
- DeLoache, J. S., Uttal, D. H., & Rosengren, K. S. (2004). Scale errors offer evidence for a perception-action dissociation early in life. *Science*, 304, 1028-1029.
- Demetriou, A., Christou, C., Spanoudis, G., & Platsidou, M. (2002). The development of mental processing: Efficiency, working memory, and thinking. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 67(1, Serial No. 268).
- Diamond, A., & Gilbert, J. (1989). Development as progressive inhibitory control of action: Retrieval of a contiguous object. *Cognitive Development*, 4, 223-249.
- Diamond, A., Carlson, S. M., & Beck, D. M. (2005). Preschool children's performance in task switching on the dimensional change card sort task: Separating the dimensions aids the ability to switch. *Developmental Neuropsychology*, 28 (2), 689 – 729.
- Elliot L (2000) *What's Going on in There? How the Brain and Mind Develop in the First Five Years of Life*. Bantam Verlag
- Ericsson, K. A., & Kintsch, W. (1995). Long-term working memory. *Psychological Review*, 102(2), 211-245.
- Flavell, J. H., Miller, P. H., & Miller, S. A. (1993). *Cognitive development*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Frith, U. (1993). Autism. *Spektrum der Wissenschaften*, 8, 48-55.
- Geary, D. C. (1996). Sexual selection and sex differences in mathematical abilities. *Behavioral and Brain Sciences*, 19(2), 229-284.
- Gelman, R., & Gallistel, C. R. (1978). *The child's understanding of number*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Gelman, S. A., & Ebeling, K. S. (1998). Shape and representational status in children's early naming. *Cognition*, 66, B35-B47.
- Gentner, D., & Goldin-Meadow, S. (Eds.). (2003). *Language in mind: Advances in the study of language and thought*. Cambridge, MA: MIT Press.

- Gentner, D., & Kurtz, K. (2005). Relational categories. In W. K. Ahn, R. L. Goldstone, B. C. Love, A. B. Markman & P. W. Wolff (Eds.), *Categorization inside and outside the lab* (pp. 151-175). Washington, DC: APA.
- Ginsberg, H. P., Klein, A., & Starkey, P. (1997). The development of children's mathematical thinking. In I. E. Sigel & K. A. Renninger (Eds.), *Handbook of Child Psychology* (5th ed., Vol. 4, pp. 401-476). New York, NY: Wiley.
- Glover, S. (2002). Visual illusions affect planning but not control. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 6(7), 288-292.
- Goldman-Rakic, P.S., Bates, J.F., Chafee, M.V. (1992) The prefrontal cortex and internally generated motor acts. *Curr. Opinion Neurosci.* 2: 830-835
- Gopnik, A., & Astington, J. W. (1988). Children's understanding of representational change and its relation to the understanding of false belief and the appearance-reality distinction. *Child Development*, 59, 26-37.
- Goswami, U. (2004). Neuroscience and education. *British Journal of Educational Psychology*, 74(1), 1-14.
- Habib M, Rey V, Daffaure V, Camps R, Espesser R, Joly-Pottuz B, Demonet JF. (2002) Phonological training in children with dyslexia using temporally modified speech: a three-step pilot investigation. *Int J Lang Commun Disord.* 37:289-308.
- Halberstadt, A. G., Crisp, V. W., & Eaton, K. L. (1999). Family expressiveness: A retrospective and new directions for research. In P. Philippot, R. S. Feldman & E. Coats (Eds.), *The social context of nonverbal behavior*. New York: Cambridge University Press.
- Halford, G. S., Andrews, G., Dalton, C., Boag, C., & Zielinski, T. (2002). Young children's performance on the balance scale: The influence of relational complexity. *Journal of Experimental Child Psychology*, 81, 417-445.
- Harris, M., & Hatano, G. (Eds.). (1999). *Learning to read and write: A cross-linguistic perspective*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Harris, P. L. (1992). From simulation to folk psychology. *Mind and Language*, 7, 120-144.
- Hetland, L. (2000). Listening to music enhances spatial-temporal reasoning: Evidence for the "Mozart effect". *Journal of Aesthetic Education*, 34(3-4), 105-148.
- Hiatt, S. W., Campos, J. J., & Emde, R. N. (1979). Facial patterning and infant emotional expression: Happiness, surprise, and fear. *Child Development*, 50, 1020-1035.
- Hirsh-Pasek, K., & Golinkoff, R. M. (2003). *Einstein never used flash cards: How our children really learn -- and why they need to play more and memorize less*. Emmaus, PA: Rodale.
- Hirsh-Pasek, K., & Golinkoff, R. M. (Eds.) (2006). *Action meets word: How children learn verbs*. New York: Oxford University Press
- Huttenlocher P.R. (1979) Synaptic density in human frontal cortex - developmental changes and effects of aging. *Brain Res.* 163: 195-205
- Huttenlocher PR, deCourtier C, Garey L, van der Loos H (1982) Synaptogenesis in human visual cortex - evidence for synapse elimination during normal development. *Neuroscience Lett* 33: 247-252
- Huttenlocher, P. R., & Dabholkar, A. S. (1997). Regional differences in synaptogenesis in human cerebral cortex. *Journal of Comparative Neurology*, 387, 167-178.

- Jezierki G, Zehle S, Groß, M, Braun K (2007) Age, drug treatment duration and early experience modulate dopaminergic response to methylphenidate in *Octodon degus*. Manuskript eingereicht.
- Kail, R., & Pellegrino, J. W. (1985). *Menschliche Intelligenz*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Kandel ER, Schwartz J.H, Jessell TM (2000) Principles of Neural Science. Verlag McGraw-Hill Publishing Co.; 4<sup>th</sup> Rev Edition
- Karmiloff-Smith, A. (1992). *Beyond modularity. A developmental perspective on cognitive science*. Cambridge, MA: MIT Bradford Books.
- Karmiloff-Smith, A. (1998). Development itself is the key to understanding developmental disorders. *Trends in Cognitive Sciences*, 2(10), 389-398.
- Keating, D., & Clark, L. V. (1980). Development of physical and social reasoning in adolescence. *Developmental Psychology*, 16, 23-30.
- Keil, F. C. (1989). *Concepts, kinds, and cognitive development*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Kloo, D., & Perner, J. (2005). Disentangling dimensions in the dimensional change card sorting task. *Developmental Science*, 8, 44-56.
- Kotovskiy, L., & Gentner, D. (1996). Comparison and categorization in the development of relational similarity. *Child Development*, 67, 2797-2822.
- Kuhl, P. K. (2004). Early language acquisition: cracking the speech code. *Nature Reviews Neuroscience*, 5, 831 – 843.
- Kuhl, P. K., Tsao, F.-M., & Liu, H.-M. (2003). Foreign language experience in infancy: effects of short-term exposure and social interaction on phonetic learning. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100, 9096-9101.
- Lagattuta, K. H., Wellman, H. M., & Flavell, J. H. (1997). Preschoolers' understanding of the link between thinking and feeling: Cognitive cuing and emotional change. *Child Development*, 68, 1081-1104.
- Leslie, A. M., German, T. P., & Polizzi, P. (2005). Belief-desire reasoning as a process of selection. *Cognitive Development*, 50, 45-85.
- Mandler, J. M. (1992). How to build a baby: II. Conceptual primitives. *Psychological Review*, 99, 587-604.
- Mandler, J. M. (2004). Thought before language. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 8(11), 508-513.
- Mischel, H. N., & Mischel, W. (1983). The development of children's knowledge of self-control strategies. *Child Development*, 54, 603-619.
- Mischel, W. (1981). Metacognition and the rules of delay. In J. H. Flavell & L. Ross (Eds.), *Social cognitive development* (pp. 240-271). Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Mischel, W., Shoda, Y., & Peake, P. K. (1988). The nature of adolescent competencies predicted by preschool delay of gratification. *Journal of Personality and Social Psychology*, 54, 687-696.
- Mullis, I. V. S., Martin, M. O., Beaton, A. E., Gonzalez, E. J., Kelly, D. L., & Smith, T. A. (1997). *Mathematics achievement in the primary school years : IEA's Third International Mathematics and Science Study (TIMSS)*. Chestnut Hill, Mass.: TIMSS International Study Center, Boston College.



- Mumme, D. L., Fernald, A., & Herrera, C. (1996). Infants' responses to facial and vocal emotional signals in a social referencing paradigm. *Child Development, 67*, 3219-3237.
- Naigles, L. (1990). Children use syntax to learn verb meanings. *Journal of Child Language, 17*, 357-374.
- NICHD Early Child Care Research Network. (1997). The effects of infant child care on infant-mother attachment security: Results of the NICHD Study of Early Child Care. *Child Development, 68*, 860-879.
- NICHD Early Child Care Research Network. (2000). Characteristics and quality of child care for toddlers and preschoolers. *Applied Developmental Science, 4*, 116-135.
- Oddy, W. H., Kendall, G. E., Blair, E., de Klerk, N. H., Stanley, F. J., Landau, L. I., et al. (2003). Breast feeding and cognitive development in childhood: a prospective birth cohort study. *Paediatric and Perinatal Epidemiology, 17*, 81-90.
- Ohl FW, Scheich H. (2005) Learning-induced plasticity in animal and human auditory cortex. *Curr Opin Neurobiol. 15*:470-7
- Peake, P. K., Hebl, M., & Mischel, W. (2002). Strategic attention deployment for delay of gratification in working and waiting situations. *Developmental Psychology, 38*, 313-326.
- Pinker, S. (1994). *The language instinct*. New York, NY: William Morrow & Co, Inc.
- Plomin, R. (Ed.). (1986). *Development, genetics, and psychology*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Plomin, R., & Spinath, F. M. (2002). Genetics and general cognitive ability (g). *Trends in Cognitive Sciences, 6*(4), 169-176.
- Plomin, R., & Spinath, F. M. (2004). Intelligence: Genetics, genes, and genomics. *Journal of Personality and Social Psychology, 86*, 112-129.
- Poeggel G, Helmeke C, Abraham A, Schwabe T, Friedrich P, Braun K (2003) Juvenile emotional experience alters synaptic composition in the rodent cortex, hippocampus, and lateral amygdala. *Proc Natl Acad Sci U S A 100*:16137-16142.
- Poeggel G, Nowicki, L, Braun K (2003) Early social deprivation alters monoaminergic afferents in the orbital prefrontal cortex of Octodon degus. *Neuroscience 116*:617-620.
- Poeggel, G, Braun K (1996) Early auditory filial learning in degus (*Octodon degus*): Behavioral and autoradiographic studies. *Brain Res. 743*, 162-170
- Preissler, M. A., & Carey, S. (in press). The role of inferences about referential intent in word learning: Evidence from autism. *Cognition, xx*(xxxx), 1-11.
- Pressley, M., Borkowski, J. G., & Schneider, W. (1987). Cognitive strategies: Good strategy users coordinate metacognition and knowledge. In R. Vasta & G. Whitehurst (Eds.), *Annals of Child Development* (Vol. 5, pp. 89-129). New York, NY: JAI Press.
- Rodriguez, M. L., Mischel, W., & Shoda, Y. (1989). Cognitive person variables in the delay of gratification of older children at risk. *Journal of Personality and Social Psychology, 57*, 358-367.
- Rose, S. A., Feldman, J. F., Jankowski, J. J., & Caro, D. M. (2002). A longitudinal study of visual expectation and reaction time in the first year of life. *Child Development, 73*, 47-61.

- Sabbagh, M. A., Xu, F., Carlson, S. M., Moses, L. J., & Lee, K. (2006). The development of executive functioning and theory of mind. A comparison of Chinese and U.S. preschoolers. *Psychological Science*, 17 (1), 74 – 81.
- Sarah-Jayne Blakemore, Uta Frith (2005) *The Learning Brain: Lessons for Education* Verlag: Blackwell Publishing
- Schellenberg, E. G. (2003). Does exposure to music have beneficial side-effects? In I. Peretz & R. J. Zatorre (Eds.), *The cognitive neuroscience of music* (pp. 430-448): Oxford University Press.
- Schellenberg, E. G. (2004). Music Lessons Enhance IQ. *Psychological Science*, 15(8), 511-514.
- Schneider, W., & Näslund, C. (1999). Impact of early phonological processing skills on reading and spelling in school: Evidence from the Munich Longitudinal Study. In F. E. Weinert & W. Schneider (Eds.), *Individual Development from 3 to 12. Findings from the Munich Longitudinal Study* (pp. 126-147). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Schneider, W., Gruber, H., Gold, A., & Opwis, K. (1993). Chess expertise and memory for chess positions in children and adults. *Journal of Experimental Child Psychology*, 56(3), 328-349.
- Schumacher, R. (Ed.) (2007). Macht Mozart schlau? Die Förderung kognitiver Kompetenzen durch Musik. Band 18 der *Reihe Bildungsforschung* des Bundesministeriums für Bildung und Forschung.
- Sharp, D., Cole, M., & Lave, C. (1979). Education and cognitive development: The evidence from experimental research. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 44(1-2, Serial No. 148).
- Siegler, R. S. (1986). Unities in strategy choices across domains. In M. Perlmutter (Ed.), *Minnesota symposium on child psychology* (Vol. 19, pp. 1-48). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Siegler, R. S. (1995). How does change occur: A microgenetic study of number conservation. *Cognitive Psychology*, 28, 225-273.
- Siegler, R. S. (1996). *Emerging minds: The process of change in children's thinking*. New York: Oxford University Press.
- Simon, H. A., & Gilmarin, K. J. (1973). A simulation of memory for chess positions.
- Singer W. (1995) Development and plasticity of cortical processing architectures. *Science* 270:758-764
- Singer, D., Golinkoff, R. M., & Hirsh-Pasek, K. (Eds.) (2006). *Play = learning: How to play motivates and enhances children's cognitive and social-emotional growth*. New York: Oxford University Press.
- Siraj-Blatchford, I., & Sylva, K. (2004). Researching pedagogy in English pre-schools. *British Educational Research Journal*, 30(5), 713-730.
- Skeels, H.M. (1966) Adult status of children with contrasting early life experiences: A follow-up study. *Monographs of the Society for Research in Child Development*. Serial No. 105, Vol. 31
- Sodian, B., Zaitchik, D., & Carey, S. (1991). Young children's differentiation of hypothetical beliefs from evidence. *Child Development*, 62, 753-766.

- Spelke, E. S. (1994). Developing knowledge: Diverse perspectives and common themes. In A. Vyt, H. Bloch & M. H. Bornstein (Eds.), *Early child development in the French tradition*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Spelke, E. S. (2000). Core knowledge. *American Psychologist*, 55, 1233-1243.
- Spitz, R.A. (1945) Hospitalism. *Psychoanalytical study of the child* 1: 53-74
- Squire LR, Spitzer NC, Zigmond MJ. , McConnell SK, Bloom FE (2002) *Fundamental Neuroscience*. Verlag Academic Press; 2nd Edition
- Staub, F. C., & Stern, E. (1997). Abstract reasoning with mathematical constructs. *International Journal of Educational Research*, 27(1), 63-75.
- Stelzl, I., Merz, F., Ehlers, T., & Remer, H. (1995). The effect of schooling on the development of fluid and crystallized intelligence: A quasi-experimental study. *Intelligence*, 21, 279-296.
- Stern, E. (1993). What makes certain arithmetic word problems involving the comparison of sets so difficult for children? *Journal of Educational Psychology*, 85, 7-23.
- Stern, E. (1999). Development of mathematical competencies. In F. E. Weinert & W. Schneider (Eds.), *Individual development from 3 to 12: Findings from the Munich Longitudinal Study* (pp. 154-170). Cambridge: Cambridge University Press.
- Stern, E. (2005). Knowledge restructuring as a powerful mechanism of cognitive development: How to lay an early foundation for conceptual understanding in formal domains. In P. D. Tomlinson, J. Dockrell & P. Winne (Eds.), *Pedagogy - Teaching for Learning (British Journal of Educational Psychology Monograph Series II, No.3)* (pp. 153-169). Leicester: British Psychological Society.
- Stern, E., & Lehrndorfer, A. (1992). The role of situational context in solving word problems. *Cognitive Development*, 7, 259-268.
- Stern, E., & Mevarech, Z. (1996). Children's understanding of successive divisions in different contexts. *Journal of Experimental Child Psychology*, 61, 153-172.
- Strauss, S., Ziv, M., & Stein, A. (2002). Teaching as a natural cognition and its relations to preschoolers' developing theory of mind. *Cognitive Development*, 17, 1473-1487.
- Tallal P. (2000) The science of literacy: from the laboratory to the classroom. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 97:2402-4.
- Temple E, Deutsch GK, Poldrack RA, Miller SL, Tallal P, Merzenich MM, Gabrieli JD. (2003) Neural deficits in children with dyslexia ameliorated by behavioral remediation: evidence from functional MRI. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 100:2860-5.
- Tomasello, M. (in press). Acquiring linguistic constructions. In R. Siegler & D. Kuhn (Eds.), *Handbook of Child Psychology: Cognitive Development*.
- Tomasello, M., Carpenter, M., Call, J., Behne, T., & Moll, H. (in press). Understanding and sharing intentions: The origins of cultural cognition. *Behavioral and Brain Sciences*.
- Tomasello, M., Strosberg, R., & Akhtar, N. (1996). Eighteen-month-old children learn words in non-ostensive contexts. *Journal of Child Language*, 23, 157-176.
- Tsao, F.-M., Liu, H.-M., & Kuhl, P. K. (2004). Speech perception in infancy predicts language development in the second year of life: A longitudinal study. *Child Development*, 75 (4), 1067 – 1084.
- Walker-Andrews, A. S., & Dickson, L. R. (1997). Infants' understanding of affect. In S. Hala (Ed.), *The development of social cognition* (pp. 161-186). West Sussex, England: Psychology Press.

- Weinert, F. E., & Schneider, W. (Eds.). (1999). *Individual development from 3 to 12: Findings from the Munich longitudinal study*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Wimmer, H., & Perner, J. (1983). Beliefs about beliefs: Representation and constraining function of wrong beliefs in young children's understanding of deception. *Cognition*, *13*, 103-128.
- Wood, D., Wood, H., Ainsworth, S., & O'Malley, C. (1995). On becoming a tutor: Toward an ontogenetic model. *Cognition and Instruction*, *13*, 565-581.
- Wynn, K. (1992). Addition und subtraction by human infants. *Nature*, *358*, 749-750.
- Xu, F. (2003). Numerosity discrimination in infants: Evidence for two systems of representations. *Cognition*, *89*, B15-B25.
- Zehle S, Bock J, Braun K (2007) Methylphenidate treatment recovers stress-induced dendritic and synaptic changes in the rodent dorsal anterior cingulate cortex .  
Manuskript eingereicht
- Zelazo, P. D., Müller, U., Frye, D., & Marcovitch, S. (2003). *The development of executive function in early childhood*. Bosten, MA: Blackwell Publishing.