
Lernen als kritischer Mechanismus geistiger Entwicklung: Kognitionspsychologische und neurowissenschaftliche Grundlagen frühkindlicher Bildung

Henrik Saalbach, Roland H. Grabner, & Elsbeth Stern

1 Einleitung

Unterricht entspricht einem komplexen Zusammenspiel zwischen dem Angebot der Lehrpersonen und dessen „Lernnutzung“ durch die Kinder (Helmke, 2006). Dabei haben sowohl die Qualität des unterrichtlichen Angebots, die in enger Beziehung zu den professionellen Kompetenzen der Lehrperson steht, als auch die psychischen, physischen und soziodemographischen Eingangsvoraussetzungen der Kinder einen großen Einfluss auf die Effektivität der Angebotsnutzung. Das gilt in besonderer Weise für den Unterricht von jungen Kindern, die massiven Veränderungen etwa im kognitiven, sozialen und emotionalen Bereich unterliegen. Im vorliegenden Beitrag möchten wir uns aus Richtung der kognitiven und neurowissenschaftlichen Entwicklungspsychologie der Frage nach dem Potential und den Bedingungen der Bildung junger Kinder nähern. Diese Perspektiven unterstützen Lehrpersonen dabei, den stufenbezogenen Anforderungen der ersten Bildungsjahre gerecht zu werden, da die entwicklungsbedingten Besonderheiten dieser Altersstufe bestimmend für die charakteristischen Anforderungen an den Unterricht und an die Lehrpersonen sind. ‚Unterricht‘ bezieht sich hier selbstverständlich nicht auf das klassische Klassenzimmer-Setting, sondern auf das gezielte Anregen von Lernprozessen durch die Lehrperson. In diesem Sinne kann also auch das gemeinsame Betrachten eines Buches, die Unterhaltung über den gestrigen Zooausflug oder das Ankleiden und Aufräumen ‚Unterricht‘ sein.

Zunächst skizzieren wir kurz die neuronalen Veränderungen durch Entwicklung und Lernen, die oft als Referenz für Motivation und Marketing von Programmen zur frühen Bildung dienen. Dabei machen wir allerdings deutlich, dass es zwar eine sensible Phase zur Vermittlung bildungsrelevanten Wissens zu geben scheint, diese aber viel länger Bestand hat, als bisher angenommen. Statt neuronale Zeitfenster abzapfen, sollte es vielmehr darum gehen, den Erwerb von anschlussfähigem Wissen zu unterstützen etwa durch Differenzieren und Elaborieren veranlagter Wissensselemente oder durch die Förderung der (kognitiven) Auseinandersetzung junger Kinder mit Phänomenen ihrer Umwelt. Tatsächlich haben die Wissensbestände, über die Kinder in bestimmten Bereichen bereits verfügen, einen großen Einfluss auf ihr Lernen und damit auf ihre geistige Entwicklung. Lernen kann daher auch als ein langwieriger Prozess der Umstrukturierung und Ausdifferenzierung bestehender Wissensseinheiten konzeptualisiert werden. Je nach Lern- und Übungsgelegenheiten kann die Kompetenzentwicklung in den einzelnen Wissensbereichen ganz unterschiedlich verlaufen. Die herausragende Bedeutung bereichsspezifischen Vorwissens verdeutlichen wir anhand von Beispielen aus verschiedenen Domänen. Obwohl dabei betont wird, dass es keine zentrale übergreifende Kompetenz gibt, deren Entwicklung einen Wissenszuwachs in verschiedenen Bereichen ohne weiteres zur Folge hat, gibt es doch wichtige Voraussetzungen für erfolgreiche Lernprozesse. Zwei Faktoren sollen dabei im Fokus stehen, deren Berücksichtigung in den Bildungsangeboten für junge Kinder besonders wichtig ist: die Sprache und das Arbeitsgedächtnis. Schließlich möchten wir noch aufzeigen, welche praktischen Implikationen aus den Ergebnissen der kognitiven und neurowissenschaftlichen entwicklungspsychologischen Forschung für den Unterricht mit jungen Kindern abgeleitet werden können

2 Lernen und Entwicklung aus Sicht der kognitiven Neurowissenschaft: Die gesamte Kindheit ist eine sensible Phase

Durch den breiten Einsatz moderner neurowissenschaftlicher Verfahren wie der Magnetresonanztomografie hat sich unser Wissen über entwicklungs- und lernbedingte Veränderungen im Gehirn in den letzten zwei Jahrzehnten dramatisch vergrößert. Mit diesem Wissenszuwachs einher ging die Frage, inwieweit die beobachteten Veränderungen bei der pädagogischen Arbeit mit Kindern zu berücksichtigen seien. Ist es der Fall, dass Kindern bestimmte Lernerfahrungen in vorgelegten Entwicklungsphasen ermöglicht werden sollten, da sie die entsprechenden Inhalte andernfalls schlechter oder gar nicht erwerben können? Hinter dieser Frage verbirgt sich meist die Besorgnis, dass kritische Phasen existieren, die man verpassen könnte. Wie die folgenden Ausführungen zeigen, ist diese Besorgnis unter normalen Entwicklungsbedingungen jedoch nicht begründet.

Ein charakteristisches Merkmal in der Entwicklung des menschlichen Gehirns (wie auch in jeder anderer Spezies) besteht in der Abfolge von progressiven und regressiven Veränderungen, die letztendlich die Reorganisation neuronaler Verschaltungen ermöglichen (für Überblicksartikel, vgl. Andersen, 2003; Goswami, 2004; Munakata, Casey,

& Diamond, 2004). Progressive Veränderungen zeigen sich vor allem in der steigenden Produktion synaptischer Verbindungen (Synaptogenese) nach der Geburt bis nach einer gewissen Zeit ein Maximum erreicht wird. Zum Zeitpunkt des Maximums ist jedes Neuron im Gehirn junger Kinder mit einer größeren Zahl anderer Neuronen verschaltet als im Erwachsenen Gehirn. Beispielsweise ist im Alter zwischen 4 und 12 Monaten die Dichte der synaptischen Verbindungen in der Gehirnregion für visuelle Informationsverarbeitung (dem visuellen Kortex) etwa eineinhalbmal so groß wie bei Erwachsenen. Dieser Phase der Überproduktion folgt eine regressive Veränderung in Form der Elimination synaptischer Verbindungen, welcher auch als neuronale Bereinigung („neural pruning“) bezeichnet wird (Huttenlocher & Dabholkar, 1997). Im visuellen Kortex dauert diese Bereinigung ungefähr bis zum 4. Lebensjahr an, dann ist bereits das Erwachseneniveau erreicht.

Dieser umgekehrte U-förmige Verlauf in der Entwicklung synaptischer Verbindungen wurde sowohl in histologischen Post-Mortem-Untersuchungen als auch in den strukturellen Bildern aus der Magnetresonanztomographie gefunden. In letzteren dient das Ausmaß der grauen Substanz als Indikator für die Zahl von Neuronen und synaptischen Verbindungen. Diese steigt ebenso bis zu einem gewissen Alter an und nimmt danach ab (z.B. Giedd et al., 1999; Gogtay et al., 2004; Sowell et al., 2003). Bemerkenswert ist hierbei der Befund, dass sich dieser Prozess in verschiedenen Gehirnregionen unterschiedlich schnell vollzieht. Jene Teile des Gehirns, die für grundlegende sensorische und motorische Funktionen zuständig sind (wie beispielsweise der visuelle Kortex), erreichen das Maximum an grauer Substanz und schließlich das geringere Erwachseneniveau deutlich früher als jene Areale, die komplexere kognitive Funktionen (wie das Arbeitsgedächtnis) unterstützen. Im präfrontalen Kortex – ein zentrales Areal für Arbeitsgedächtnis- und exekutive Funktionen – finden sich sogar bis ins frühe Erwachsenenalter Abnahmen in der grauen Substanz.

Heute besteht weitgehender Konsens darin, dass im Lauf der regressiven Veränderungen jene synaptischen Verbindungen eliminiert werden, die nicht genutzt werden („use it or lose it“). Die verbleibenden, genutzten Verbindungen hingegen werden verstärkt und durch die Myelinummantelung der Axone sogar beschleunigt. Dies gilt auch für neue synaptische Verbindungen, die im Zuge von Lernprozessen gebildet werden. Je häufiger bestimmte Neuronen gemeinsam aktiviert werden, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit einer stabilen synaptischen Verschaltung. Hebb (1949) beschrieb dies mit den Worten: *What fires together, wires together* (vgl. Cooper, 2005).

Lernerfahrungen schlagen sich somit sowohl im Abbau nicht genutzter Verbindungen als auch im Aufbau neuer Verbindungen nieder. Doch gibt es Phasen, in denen dies besser von statten geht? Zur Beantwortung dieser Frage ist es hilfreich zwei Arten von Lernerfahrungen und deren Zusammenhang mit der Plastizität des Gehirns zu unterscheiden (Greenough, Black, & Wallace, 2008). Auf der einen Seite stehen jene Lernerfahrungen, die erforderlich sind, um genetisch festgelegte Entwicklungsmechanismen in Gang zu setzen. Da vom Gehirn bestimmte Lernerfahrungen erwartet werden, spricht man auch von erfahrungserwartender Plastizität. Bleiben die Erfahrungen aus, finden keine Um-

strukturierungen im Gehirn statt. Diese Form von Plastizität wurde mehrfach in Tierexperimenten nachgewiesen und prägte den Begriff der kritischen Phasen. Beispielsweise wurde gezeigt, dass die postnatale mehrwöchige Deprivation visueller Reize bei Katzenbabys (z. B. durch Zukleben der Augenlider) zu einer Beeinträchtigung der Sehfähigkeit führt, die nicht mehr reversibel ist. Mit anderen Worten erwartet das Gehirn in kritischen Phasen bestimmte Lernerfahrungen, ohne die die entsprechenden Entwicklungsprozesse nicht (vollständig) ablaufen können. Außerhalb dieser Zeitfenster können diese auch nicht mehr nachgeholt werden. Daher sind Altersabhängigkeit und Irreversibilität die zentralen Charakteristika von kritischen Phasen.

Kritische Phasen wurden praktisch ausschließlich in Tierexperimenten beobachtet, in denen natürlich vorkommende Reize vorenthalten wurden. Auch wenn die Übertragbarkeit dieser Befunde auf die menschliche Gehirnentwicklung fraglich ist, kann daraus der Schluss gezogen werden, dass man sich nicht aktiv darum bemühen muss, Kindern während bestimmter Entwicklungsphasen besonders viele Reize einer Art zu präsentieren. Die für die Entwicklung relevanten Reize kommen überall vor. Man muss lediglich darauf achten, dass diese Reize unter gewissen Umständen nicht vorenthalten werden – wie dies zum Beispiel der Fall sein könnte, wenn während der Entwicklung der für das Hören zuständigen auditorischen Hirnregionen Mittelohrentzündungen unerkannt bleiben.

Für die pädagogische Arbeit mit Kindern relevanter ist die zweite Art der Plastizität des Gehirns, die sogenannte erfahrungsabhängige Plastizität. Vereinfacht ausgedrückt bedeutet dies, dass sich das Gehirn in Abhängigkeit von Lernerfahrungen verändert, für die es kein festgelegtes genetisches Programm gibt. Dies betrifft all jene Lernerfahrungen, um die es im Schulunterricht geht – wie Lesen, Schreiben oder Rechnen. Auf diese Kulturtechniken konnte sich unser Gehirn genetisch nicht vorbereiten, weil es sie erst seit einem entwicklungsgeschichtlich relativ kurzen Zeitraum gibt. Wie weiter unter dargestellt, werden im Zuge dieser Lernerfahrungen gewisse biologisch fundierte Ressourcen genutzt und massiv ausgebaut (z. B. die angeborene Fähigkeit zur Quantifizierung sehr kleiner Mengen für die Entwicklung mathematischer Kompetenz). Hervorzuheben ist, dass es für diese Art von Lernerfahrungen keine Belege für die Existenz kritischer Phasen gibt, außerhalb derer Lernen nicht mehr möglich wäre und Entwicklungsdefizite grundsätzlich nicht mehr nachgeholt werden könnten.

Die Unterscheidung von Lernen im Rahmen der erfahrungserwartenden und erfahrungsabhängigen Plastizität spiegelt sich letztlich auch in den oben kurz dargestellten Befunden über die Gehirnentwicklung wider. Gehirnareale, die für grundlegende sensorische und motorische Funktionen zuständig sind, reifen vergleichsweise früh heran und dürften dafür – auch wenn dies aus ethischen Gründen bei Menschen experimentell nicht nachgewiesen werden kann – lediglich die universell vorkommenden Umweltreize benötigen. Jene Teile des Gehirns, die für höhere kognitive Prozesse zuständig sind (wie z. B. frontale Regionen) zeigen einen langandauernden Reifungsprozess, der nach aktuellen Befunden bis ins frühe Erwachsenenalter reicht. Ungeachtet der Tatsache, dass in jedem Lebensabschnitt Lernen und die damit verbundenen Veränderungen im Gehirn möglich sind, deuten diese Befunde zumindest darauf hin, dass lernförderliche Zeitfens-

ter beim Menschen sehr lange offen sind und sich nur langsam schließen. Daher wird häufig von sensitiven Phasen gesprochen, in denen – im Gegensatz zu kritischen Phasen – die Effekte von Lernerfahrungen lediglich größer sein könnten als in anderen Phasen (Bailey, 2002). Vor diesem Hintergrund macht es Sinn, die gesamte Kindheit als sensible Phase zu betrachten, in der geeignete Rahmenbedingungen für die erfahrungsabhängige Plastizität geschaffen werden sollten.

3 Lernen und Entwicklung aus Sicht der kognitiven Entwicklungspsychologie: *It's the knowledge stupid!*

Wer sich mit Entwicklung und Lernen junger Kinder beschäftigt, kommt an den Theorien Vygotskys und Piaget nicht vorbei. Auf deren Arbeiten gründet die moderne Entwicklungspsychologie. Vygotsky (1962) erkannte in der Sprache, dem primären symbolischen System, eine der wichtigsten Unterstützerin der kognitiven Entwicklung: Wenn Sprache internalisiert wird (‚innere Sprache‘), ist sie grundlegend für die Organisation der kognitiven Aktivitäten des Kindes. Weiter unten wird noch näher auf die herausragende Rolle der Sprache für die Entwicklung und das Lernen junger Kinder eingegangen. Ein weiterer wichtiger Aspekt in den Schriften von Vygotsky ist der Begriff der ‚Zone der nächsten Entwicklung‘, der sich auf jenes Lernpotential des Kindes bezieht, das nur mit Unterstützung eines Erwachsenen bzw. einer Lehrperson genutzt werden kann (Lev S. Vygotsky, 1978). Lehrpersonen müssen daher die Zone der nächsten Entwicklung eines Kindes erkennen können und die Instruktion entsprechend darauf ausrichten. Mit anderen Worten: Das Lernen des Kindes richtet sich nach dem, was es schon weiß.

Im Zusammenspiel zwischen bestehenden Wissensstrukturen und neuen Informationen sah auch Piaget die entscheidende Quelle der intellektuellen Entwicklung des Kindes. In seiner genetisch-konstruktivistischen Erkenntnistheorie postuliert er das Streben nach einem kognitiven Gleichgewicht als entscheidende Motivation für das Lernen des Kindes. Können neue Informationen in bestehende Wissensstrukturen nicht integriert (oder: assimiliert) werden, wird dieses Gleichgewicht gestört, und die Wissensstrukturen müssen verändert bzw. differenziert (oder: akkomodiert) werden. Zentral für das Werk Piagets ist der Begriff der Konstruktion. Demnach ist das Zusammenspiel zwischen Assimilation und Akkomodation, also zwischen Integration und Anpassung, kein passives Geschehen, sondern ein im Austausch mit der sozialen und natürlichen Umwelt stehender aktiver Konstruktions- und Selbstorganisationsprozess (Reusser, 2006).

Piagets Konzeption des Wissenserwerbs als individuelle Konstruktion hatte und hat nach wie vor einen entscheidenden Einfluss auf die Lernpsychologie und Pädagogik. Hingegen erfuhr seine strukturalistische Entwicklungstheorie – insbesondere die Vorstellung von einer sich in Stufen vollziehenden Entwicklung vom Konkreten zum Abstrakten – eine deutliche Relativierung. Beispielsweise schrieb Piaget Kindern im Vorschul- und Grundschulalter eine sehr beschränkte Abstraktionsfähigkeit zu. Jedoch konnte vielfach gezeigt werden, dass sich bei Umformulierungen oder Einbettungen der von Piaget entwickelten

Aufgaben in andere Kontexte die Lösungsraten dramatisch erhöhen. Ob Aufgaben eines bestimmten Abstraktions- und Komplexitätsgrades gelöst werden können oder nicht, hängt entscheidend vom bereichsspezifischen Vorwissen ab. Leistungsunterschiede in unterschiedlichen schulischen Kompetenzbereichen wie Mathematik und Schriftspracherwerb lassen sich besser durch bereichsspezifisches Wissen als durch allgemeine Abstraktionsfähigkeit erklären (vgl. Stern, 2008; Weinert, 1998; Weinert & Helmke, 1997).

Die große Bedeutung von bereichsspezifischem Wissen gegenüber einer allgemeinen domänenübergreifenden Kompetenz zur Vorhersage von bereichsspezifischer Leistung wurde auch durch die Expertiseforschung deutlich. So konnte gezeigt werden, dass die Voraussetzung für Höchstleistung in Bereichen wie Schachspielen, Mathematik oder Physik eine breite und flexibel zugängliche Wissensbasis ist. Interessant ist in diesem Zusammenhang auch, dass es bereits Kindern gelingen kann, in speziellen Bereichen eine Expertise aufzubauen. Beispielsweise untersuchte Chi (1978) die Gedächtnisleistung von etwa 10-jährigen schacherfahrenen Kindern und verglich diese mit der von wenig schacherfahrenen Erwachsenen. Die Aufgabe bestand darin, eine für 10 Sekunden präsentierte Schachkonstellation anschließend aus der Erinnerung zu rekonstruieren. Chi fand, dass die Experten Kinder die Novizenerwachsenen in ihrer Gedächtnisleistung deutlich übertrafen (siehe auch Schneider, Gruber, Gold, & Opwis, 1993). Der Erwerb von umfangreichem und gut vernetztem Wissen resultiert jedoch nicht zwangsläufig in besseren Leistungen in anderen Bereichen. Selbst sogenannte Zahlenkünstler, die sich eine unglaublich hohe Anzahl an Zahlen merken können, zeigen bei verbalem Material keine besseren Gedächtnisleistungen (Stern, 1998).

4 Bereichsspezifisches Wissen und seine Veränderung

Forschungsergebnisse aus dem Bereich der kognitiven Entwicklungspsychologie geben wichtige Einblicke in die Differenzierung und Umstrukturierung von Wissen, die dem Kompetenzerwerb in unterschiedlichen Domänen zugrunde liegt. Zudem erlaubt die Unterscheidung zwischen prozeduralem und deklarativem Wissen, hochautomatisiertes und deshalb schwer veränderbares Wissen von solchem Wissen abzugrenzen, welches der verbalen Beschreibung zugänglich ist und bewusst umstrukturiert werden kann. Die aktive Umstrukturierung, Differenzierung und Integration deklarativer Wissensseinheiten wird oft als Konzeptwandel bezeichnet (z. B. Carey, 1985, 2000; Vosniadou, 2008). Konzeptwandel bedeutet, dass mit einem bestimmten Begriff neue Eigenschaften und Merkmale verbunden werden beziehungsweise schon bekanntes Wissen ein neues Gewicht bekommt. Bei wissenschaftlichen und analytischen Begriffen werden im Laufe der Zeit definitorische Merkmale immer wichtiger, während charakteristische Merkmale wie etwa die äußere Form in den Hintergrund treten. Für das Verstehen anspruchsvoller und hochkomplexer Inhaltsbereiche wie zum Beispiel Physik ist Konzeptwandel unumgänglich.

Der Aufbau einer elaborierten Wissensbasis, welche die Grundlage für das Verstehen von begrifflichen Zusammenhängen bildet, ist ein aktiver, zeitaufwendiger Prozess. Konstruktivistische Theorien des menschlichen Lernens – wie zum Beispiel die von Piaget und Theorien des Konzeptwandels – tragen dieser Tatsache Rechnung. Altersadäquate Aufgaben beziehungsweise Lernumgebungen können Kinder anregen, ihr Vorwissen zu aktivieren und es eventuell zu modifizieren, umzustrukturieren und zu erweitern. Auf Grundlage der Theorie des konzeptuellen Wandels verstehen wir nämlich, dass die Schwierigkeiten, die Kinder beim Verstehen des zu vermittelten Wissens haben, nicht unbedingt darauf zurückzuführen sind, was den Lernenden fehlt, sondern auf das, was sie schon haben, nämlich, eigene alternative Erklärungen, die mit den wissenschaftlichen Theorien nicht übereinstimmen. Schwer zu ändern sind sie deshalb, weil sie im Alltag der Kinder zunächst gut funktionieren. Auf Grundlage der Theorie des konzeptuellen Wandels leitet Carey (2000) eine Reihe von Vorschlägen für die Unterrichtsgestaltung ab, die auch für frühe Bildung von Relevanz sind. Danach ist erfolgreicher Unterricht ohne eine Aktivierung und eine Diagnose des Vorwissens der Lernenden in Bezug auf den zu vermittelnde Stoff nicht zu erreichen. Relevantes, zur Bearbeitung einer Aufgabe erforderliches Vorwissen wird oft nicht spontan abgerufen und genutzt; junge Kinder müssen dabei unterstützt werden (siehe auch Saalbach & Schalk, 2011). Ferner sollten Kinder häufiger dazu gebracht werden, Erklärungen zu geben, um so ein explizites Verständnis aufbauen zu können. Schließlich schlägt Carey vor, dass Lehrpersonen das Lernen der Kinder als einen konzeptuellen Wandel begreifen. Dadurch können Fehlvorstellungen als unabwendbare Begleiterscheinung des Lernprozesses gesehen werden. Ein sofortiges wissenschaftlich korrektes Verständnis ist sehr unwahrscheinlich. Stattdessen konstruieren die Lernenden Zwischenstufen beziehungsweise Fehlvorstellungen (sogenannte synthetische Modelle, vgl. Vosniadou, 2008) auf dem Weg zu einem wissenschaftlich adäquaten Verständnis.

Die Quellen des Vorwissens, die das ‚Rohmaterial‘ für die Konstruktion neuer Wissensstrukturen bilden, liegen in den Erfahrungen des Kindes in der Interaktion mit seiner natürlichen und sozialen Umgebung oder sogar in angeborenen Wissensselementen. Menschen müssen nicht in allem bei null anfangen. Wie Vögel mit Wissen über das Fliegen und Löwen mit Wissen über das Jagen ausgestattet sind, so bringen auch die Menschen Wissen mit, das sie nicht allein durch Erfahrung und Lernen erwerben konnten. Bereiche, in den dieses ‚Kernwissen‘ vor allem angesiedelt ist, werden in der Entwicklungspsychologie als fundamentale Domänen der Entwicklung (‘foundational developmental domains’) bezeichnet (Wellmann & Gelman, 1998). Dazu gehören die naive Physik, Mathematik, sowie Wissen über das Verhalten von anderen Lebewesen, darunter auch Menschen. Letzteres kann man als naive Biologie und Psychologie bezeichnen. Schon als wenige Monate alte Kinder wissen sie mehr über die Welt als Piaget in seiner strukturalistischen Entwicklungstheorie annahm. Allerdings können sie zu dem Zeitpunkt ihr Wissen weder durch Sprache noch durch Handlung ausdrücken. Im so genannten Habituationsparadigma, das Entwicklungspsychologinnen wie Elisabeth Spelke (1991) und Renée Baillargeon (1991) zur Erforschung der naiven Physik ausgie-

big eingesetzt haben, zeigte sich, über welche erstaunlichen Kompetenzen kleine Kinder bereits verfügen. In diesem Forschungsparadigma werden Säuglinge zunächst für einen längeren Zeitraum mit einem für sie interessanten Ereignis konfrontiert, etwa einem rollenden Ball (siehe Abbildung 1).

Experimentalgruppe



Kontrollgruppe

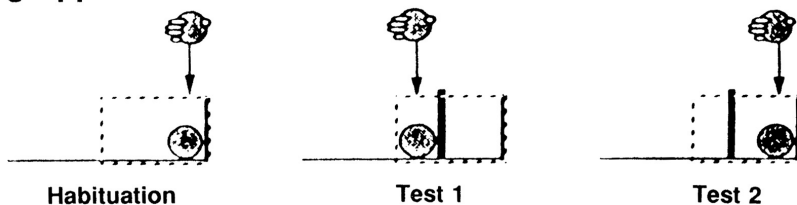


Abbildung 1 Die Versuchsanordnung mit Säuglingen (Spelke, 1991, S. 144)

Die Dauer, mit der die Kinder das Ereignis beobachten, gilt als Indikator für ihr Interesse. 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 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 mit ihr 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. Dass wenige Monate alte Säuglinge anhand von Bewegungen zwischen belebten und unbe-

lebten Objekten unterscheiden können, hat die Entwicklungspsychologin Jean Mandler schon vor Jahrzehnten gezeigt und in dem Aufsatz mit dem schönen Titel „How to build a baby“ veröffentlicht (Mandler, 1992). Auch hier ging es um die Frage, was Kinder von Natur aus an Wissen mitbekommen haben, also nicht von Grund auf lernen mussten. Das Habituationsparadigma wurde von Wynn (McCrink & Wynn, 2007; Wynn, 1998) auch auf das Verständnis mathematischer Konzepte wie Addition, Multiplikation und Größenschätzung übertragen. Inzwischen gibt es Belege für angeborene Grundlagen im Umgang mit kleinen diskreten Mengen und dem Abschätzen von nicht-abzählbaren großen Mengen, die unabhängig voneinander sind (Feigenson, Dehaene, & Spelke, 2004). Erst durch den Erwerb eines symbolischen Zahlensystems werden diese geistigen Ressourcen integriert und bilden so die Grundlagen für mathematische Kompetenzen. Diese Integration erfordert allerdings systematische Unterstützung und Instruktion.

Dass Menschen nicht nur als kleine Physiker, Mathematiker und Biologen, sondern auch als Psychologen auf die Welt kommen, wird insbesondere von Paul Bloom und Karen Wynn an der Yale-University erforscht (Hamlin, Wynn, & Bloom, 2007). Wenige Monate alte Babys, die kaum Gelegenheit zur sozialen Erfahrung hatten, können zwischen Situationen unterscheiden, in denen sich zwei Interaktionspartner unterstützen oder nicht. An dieser Stelle sei auf einen Artikel aus der New-York Times und ein sehr unterhaltsames Video verwiesen¹. Menschen werden also mit Wissen über die physikalische und soziale Welt geboren, das ihnen bei Orientierung und beim Lernen hilft. Deshalb lernen sie die Bewältigung mancher Anforderungssituationen sehr schnell. Man spricht von *fast-mapping*. Menschliche Kompetenzen, die sich erst im Laufe der kulturellen Entwicklung herausgebildet haben, wie der Erwerb von Schriftsprache, der Gebrauch mathematischer Symbolsysteme, die Konstruktion wissenschaftlicher Theorien oder die Schaffung sozialer Institutionen können auf den angeborenen Strukturen beruhen, gehen aber immer weit über diese hinaus. Um Kinder auf ein Leben in einer komplexen Wissens- und Informationsgesellschaft vorzubereiten, brauchen wir institutionalisierte Lerngelegenheiten, die an das biologisch verankerte Wissen anknüpfen und dieses fortführen.

Wissen über mentale Zustände, Absichten und Überzeugungen von sich und anderen Personen ist eine wichtige Voraussetzung für institutionelles Lernen (Wellman & Lagatuta, 2004; Ziv & Frye, 2004). Die Forschung zur Entwicklung der sogenannten *Theory of Mind* zeigt, dass Kinder erst ab dem 4. Lebensjahr die Fähigkeit entwickeln, die eigene Perspektive als subjektiv zu erkennen und diejenige eines anderen Menschen zu übernehmen, indem auf seinen Wissensstand Bezug genommen wird (Berk, 2005; Flavell, 1999; Siegler, DeLoache, & Eisenberg, 2008). Dies wird durch den folgenden sogenannten ‚False-Belief‘-Versuch verdeutlicht (Gopnik & Astington, 1988): 3-jährigen Kindern wird eine verschlossene Pralinenschachtel gezeigt, danach werden sie gefragt, was sie enthalte, und die Kinder antworten: Pralinen. Nun wird die Schachtel geöffnet und die Kinder sehen, dass die Schachtel Buntstifte enthält. Wenn nun 3-Jährige gefragt werden, welchen

1 http://www.nytimes.com/2010/05/09/magazine/09babies-t.html?_r=1&ref=magazine.

Inhalt ein anderes Kind vermuten würde, werden sie Buntstifte sagen und behaupten, das selbst auch vorher geglaubt zu haben. Mit 6 bis 7 Jahren sagen hingegen die meisten Kinder, dass andere Kinder ebenfalls glauben, dass die Schachtel Pralinen enthalte (vgl. weitere Versuche Arbing, 2001). Mit dieser Fähigkeit hängt unter anderem die Entwicklung des Verständnisses dafür zusammen, dass unterschiedliche Personen das gleiche Ereignis unterschiedlich interpretieren (jemand kann glücklich sein, einen Hund zu erhalten, ein anderer ängstlich), und dass Intention und Handlungswirkung nicht in einem kausalen Verhältnis stehen (ein Kind kann unabsichtlich ein anderes umstoßen). Inzwischen gibt es sogar Indizien, dass eine implizite Sensitivität im Hinblick auf das Verständnis von Überzeugungen und Intentionen sogar schon im Babyalter erworben werden kann (Onishi & Baillargeon, 2005). In ‚babygerechten‘ Versionen der ‚False-Belief‘-Aufgaben konnte gezeigt werden, dass Babies deutlich längere Blickzeiten in jenen Fällen zeigen, in denen der Protagonist ein Verhalten zeigt, das einer falschen Überzeugung entspringt. Die Entwicklung einer *Theory of Mind* wird daher zu einem nicht geringem Teil auf angeborene Wissensstrukturen zurückgeführt. Dennoch bieten sich auch hier Unterstützungs- und Förderungsmöglichkeiten an. Erklärungen und Gespräche können den Kindern helfen, etwa die Fähigkeiten zur Perspektivübernahme zu üben und zu vertiefen (Astington, 2000). Dabei kommt vor allem der Sprache eine wichtige Rolle zu.

5 Sprache als kognitive Voraussetzungen des Wissenserwerbs

Sprache hat einen enormen transformativen Einfluss auf die kognitiven Fähigkeiten des Kindes (Tomasello, 1999). Nach Vygotsky führt das Lernen einer Sprache zu einer dramatischen Entwicklung der vorsprachlichen kognitiven Fähigkeiten des Kindes hin zu neuen Kompetenzen, wie etwa der fokussierten Aufmerksamkeit, größerer Gedächtniskapazität und symbolischem Bewusstsein, die schließlich das Kind in die Lage versetzen, seine eigenen mentalen Prozesse zu kontrollieren. Tomasello (1999) sieht vor allem drei Dimensionen, in denen Sprache die geistige Entwicklung des Kindes beeinflusst. Zunächst wird Wissen durch sprachliche Kommunikation vermittelt. Erwachsene in den meisten Kulturen wenden sich mit Instruktionen und Erklärungen an ihre Kinder. Zum anderen lenkt die Struktur der sprachlichen Kommunikation und der Sprache selbst die Aufmerksamkeit der Kinder auf bestimmte Aspekte der Wirklichkeit. So macht es einen Unterschied, ob das Kind etwas über ‚Katzen‘ im Allgemeinen erfährt oder über ‚die Katze‘, die gerade über den Weg läuft und schwarzes Fell hat. Kleine grammatikalische Variationen können entscheiden, wie Kinder ihr Wissen organisieren (Imai, Saalbach, & Stern, 2010; Saalbach, Imai, & Schalk, 2012). Schließlich bringt die sprachliche Interaktion Kinder dazu, andere Perspektiven einzunehmen. Gibt es etwa zwei in Konflikt stehende Standpunkte zu dem gleichen Thema, ist das Kind gezwungen, diese aufeinander abzustimmen. Das Koordinieren zweier verschiedener Perspektiven unterstützt die Entwicklung eines selbstreflektierenden Denkens (Tomasello, 1999).

Der enorme transformative Einfluss der Sprache auf die kognitiven Fähigkeiten des Kindes konnte durch eine Reihe von wichtigen Studien verdeutlicht werden. So wurde beispielsweise herausgefunden, dass das Benennen von Objekten Kindern am Anfang des Spracherwerbs (ca. 12 bis 13 Monate alt) hilft, übergeordnete Kategorien zu bilden (z. B. Waxman & Markow, 1995). Wenn die Kinder verschiedene Mitglieder der gleichen Kategorie (z. B. Tiere) sahen und währenddessen den entsprechenden Namen hörten (z. B. „Schau mal dieses Tier an!“) hatten die Kinder einen deutlichen Vorteil bei der Bildung von Kategorien gegenüber Kinder, die nur das Objekt sahen aber keinen Namen präsentiert bekamen. Die sprachlichen Bezeichnungen von Kategorien unterstützt Kinder im Vorschulalter bei induktiven Schlussfolgerungen, d. h. sie nehmen an, dass Objekte mit dem gleichen Namen wichtige Eigenschaften teilen (Gelman & Markman, 1986; Imai et al., 2010). Gentner (2003) mutmaßt, dass es in der frühen Kindheit einen wichtigen Entwicklungsschritt von einem Fokus auf oberflächliche Ähnlichkeiten hin zur Fähigkeit, tieferliegende Ähnlichkeiten zu erkennen gibt, und dass dies durch Sprache gefördert werden kann. So unterstützt etwa die Aneignung relationaler Sprache (d. h. Wörter, die Beziehungen benennen, wie z. B. größer, kleiner, Mama, Papa, schenken, unterrichten, etc.) das Erkennen relationaler Ähnlichkeit (Opa verhält sich zu Papa wie Papa zum Kind), das eine wichtige Voraussetzung für die Entwicklung analogen Schließens darstellt.

Sprache scheint zudem auch ein Katalysator für die Entwicklung einer *Theory of Mind* zu sein. Wie oben erwähnt, erwerben Kinder mit etwa vier Jahren die Fähigkeit, andere Menschen als mental Handelnde zu verstehen, die Ideen und Überzeugungen besitzen, welche sich von den eigenen unterscheiden können. Bartsch und Wellman (1995) bemerkten etwa, dass Kinder zu dem Zeitpunkt Wissen und Überzeugungen anderer Menschen berücksichtigen können, zu dem sie auch anfangen, mentale Verben wie ‚denken‘, ‚möchten‘ und ‚glauben‘ aktiv zu nutzen. Um zu prüfen, ob es sich bei dem Zusammenhang zwischen Sprachentwicklung und Entwicklung der *Theory of Mind* um eine kausale Beziehung handelt, wurden typische *Theory-of-Mind*-Aufgaben (wie die oben beschriebene Pralinenschachtelaufgabe) mit gehörlosen Kindern durchgeführt (de Villiers, 2000). Die sprachlichen Fähigkeiten der Kinder mit gehörlosen Eltern wird als normal entwickelt betrachtet, da sie von früh auf der Gebärdensprachen ausgesetzt waren. Die sprachliche Entwicklung gehörloser Kinder hörender Eltern wird jedoch als verzögert betrachtet, da sie normalerweise die Gebärdensprache erst mit Eintritt in die Primarschule lernen. De Villiers fand heraus, dass Kinder mit verzögerter sprachlicher Entwicklung in den *Theory-of-Mind*-Aufgaben schlechter abschnitten als ihre gebärdensprachlich normal entwickelten und hörenden Altersgenossen. Dieser Rückstand wurde am Fehlen grammatikalischer Elemente zur Komplementbildung bei den entwicklungsverzögerten Kindern festgemacht. Komplementbildung ist notwendig, um in die Satzstruktur eingebettete Falschaussagen zu markieren. Beispielsweise ist die Aussage „Die Welt ist das Zentrum des Universums“ falsch. Aber ein Satz, der diese Aussage enthält, ist nicht notwendigerweise falsch, sofern diese Aussage in mentale Zustandswörter eingebettet ist (z. B. „Er glaubt, die Welt sei das Zentrum des Universums“). Dass

die Verfügbarkeit bestimmter sprachlicher Strukturen die *Theory of Mind* tatsächlich fördert, konnten Hale und Tager-Flusberg (2003) überzeugend nachweisen. Sie führten ein sprachliches Trainingsprogramm mit solchen Kindern durch, die die False-Belief-Aufgaben noch nicht richtig lösen konnten. Dabei konzentrieren sie sich speziell auf die Bildung von Komplementsätzen. Hale und Tager-Flusberg konnten feststellen, dass das sprachliche Training einen deutlichen Einfluss auf die Entwicklung der *Theory of Mind* teilnehmender Vorschulkinder hatte. Ein Zusammenhang zwischen dem Verständnis von mentalen Zustandswörtern und *Theory-of-Mind*-Fähigkeiten konnte sogar noch auf Primarschulstufe nachgewiesen werden (Grazzani & Ornaghi, 2012).

6 Arbeitsgedächtnis als kognitive Voraussetzungen des Wissenserwerbs

Eine weitere wichtige Voraussetzung des Wissenserwerbs stellt das Arbeitsgedächtnis dar (vgl. Baddeley, 2003). Diesem psychologischen Konstrukt wird das Steuern zielgerichteter und planvoller Handlungen zugeschrieben, indem etwa irrelevante Information ausgeblendet und relevante Information mit Aufmerksamkeit bedacht und an bestehendes Wissen angebunden werden. Zielgerichtetes und planvolles Handeln ist grundlegend für schulisches Lernen – komplexe Aufgaben erfordern die Fähigkeit, längerfristig und planvoll zu denken und zu handeln und mehrere Ziele gleichzeitig aktiv zu halten. Die Begrenzung der Arbeitsgedächtniskapazität steht natürlich auch mit dem im Vergleich zu Erwachsenen geringeren Begriffswissen im Zusammenhang. Steht mehr Vorwissen zur Verfügung, kann neue Information angebunden, das heißt gelernt werden. Es gibt aber auch gute Gründe für die Annahme, dass sich im Laufe der Kindheit (bis in die Pubertät) bestimmte Funktionen im Frontalhirn herausbilden, die die Kapazität der aufzunehmenden Information beeinflussen (Diamond, Prevor, Callender, & Druin, 1997). Eine alters- und nicht nur wissensbedingte Komponente der Gedächtnisleistungsentwicklung wird auch durch die abnehmende Gedächtnisleistung im hohen Alter verdeutlicht, die in der Regel nicht mit einem Wissensabbau erklärbar ist (Hasselhorn & Schneider, 2007).

Eine geringere Arbeitsgedächtniskapazität schränkt jedoch nicht zwangsläufig die Lernfähigkeit in bestimmten Inhaltsgebieten ein. Zum einen zeigen Ergebnisse der Säuglingsforschung, dass Kinder beim Erwerb von Wissen in Inhaltsbereichen wie Mathematik, Physik und Biologie auf universelle Grundlagen zurückgreifen können (siehe oben). Die Orientierung in der physikalischen Umwelt, das Zählen von Objekten und das Erkennen von Lebewesen werden bis zu einem gewissen Grad durch genetisch verankerte Programme gesteuert. Das im kulturellen Kontext entstandene mathematische, physikalische und biologische Wissen erfordert eine Erweiterung oder auch Umstrukturierung dieses Wissens in professionellen, institutionalisierten Lerngelegenheiten. Zum anderen kann Inhaltswissen die altersbedingte Kapazitätsgrenze des Arbeitsgedächtnisses mehr als kompensieren. Dies wird durch die oben erwähnten Schach-Studien (Chi, 1978; Schneider et al., 1993), in denen schacherfahrene Kinder mit wenig schacherfahrenen

Erwachsenen verglichen wurden, deutlich. Aufgrund ihres Wissens und vor allem dessen Organisation waren junge Kinder in der Lage, eine deutlich bessere Gedächtnisleistung für Schachkonstellationen zu zeigen als die Erwachsenen. Dies zeigt, dass auch Kinder durch eine gut organisierte und vernetzte Wissensbasis, in der die einzelnen Wissensseinheiten in hierarchisch angeordneten Bündeln (*chunks*) zusammengefasst sind, ihre geringere Arbeitsgedächtnisleistung kompensieren können (Stern, 2002). Mit anderen Worten: Die altersbedingten Defizite in der Nutzung des Arbeitsgedächtnisses halten Kinder keineswegs vom Lernen ab. Kinder können sich schon in anspruchsvolle Inhaltsgebiete einarbeiten, nur werden solche Lernprozesse durch Einschränkungen im Arbeitsgedächtnis verlangsamt und erschwert.

7 Implikation für die frühe Bildung

Wie aus den vorangegangenen Abschnitten deutlich wurde, bringt das menschliche Gehirn viele Voraussetzungen mit, die bereits sehr kleinen Kindern helfen, sich in der physikalischen und sozialen Welt zurechtzufinden. Sofern die Lebenswelt der Kinder nicht massiv beschnitten wird, werden auf diesen Kompetenzen basierende Lernprozesse ohne besondere Unterstützung und Anstrengung der Umgebung initiiert. Damit sich die in den Genen vorgesehenen Kompetenzen entwickeln können, werden Erwartungen an die Umwelt gestellt: Man braucht Licht, um Gegenstände visuell wahrnehmen zu können; man braucht Mitmenschen, die mit einem interagieren, um die sozialen Fertigkeiten auszubilden. Diese Anforderungen werden praktisch in jedem Winkel der Welt erfüllt. Aufwendige Frühförderprogramme, um das zu initiieren, was die Biologie sowieso vorgesehen hat, sind weder nötig noch dienlich. Lediglich für Kinder mit untypischen Mustern in der Gehirnentwicklung sollte man rechtzeitig kompensatorische Förderangebote bereitstellen.

Auf die Anforderungen einer Wissens- und Informationsgesellschaft ist das menschliche Gehirn hingegen nicht direkt vorbereitet. Zwischen der Entwicklung der Schriftsprache sowie den mathematischen Symbolsystemen und der Herausbildung des Genoms, welche die Architektur des menschlichen Gehirns steuern, liegen geschätzte 35'000 Jahre. Da das menschliche Gehirn nicht direkt auf Kulturtechniken vorbereitet wurde, kann nicht davon ausgegangen werden, dass es ganz bestimmte Erwartungen an die Umgebung stellt. Es gibt nicht die geringsten Indikatoren dafür, dass das Lernen von Lesen, Schreiben und Rechnen an kritische Phasen der Gehirnentwicklung gebunden ist. Selbstverständlich müssen grundlegende visuelle und motorische Fertigkeiten ausgebildet sein, doch diese sind von allgemeiner Funktion. Vor diesem Hintergrund ist die Angst vor verpassten Zeitfenstern kein Argument für frühe Bildung, das Argument „*carpe diem*“, also ‚Nutze die Zeit‘ hingegen schon. Kulturtechniken wie Lesen, Schreiben und Rechnen zu lernen ist möglich, weil biologisch fundierte aber zunächst unabhängig voneinander agierende geistige Ressourcen integriert werden können. Dies bedarf jedoch der besonderen Unterstützung. Schriftsprache wird ermöglicht, weil Menschen die Fähigkeit zur Sym-

bolverarbeitung, zur differenzierten akustischen Diskriminierung und visuellen Mustererkennung sowie einer ausgebildeten Feinmotorik mitbringen. Diese verschiedenen und zunächst unabhängigen Ressourcen müssen in gezielt darauf abgestimmten Lerngelegenheiten zusammen gebracht werden. Ein Training der phonologischen Bewusstheit im Kindergarten erleichtert etwa den späteren Schriftspracherwerb. Auch Zeichnen und Malen kann die Integration der genannten Fähigkeiten fördern. An der Entwicklung der mathematischen Fähigkeit ist die angeborene Kompetenz zur Quantifizierung konkreter Mengen ebenso beteiligt wie die Fähigkeit zur ungefähren Abschätzung von großen Mengen. Hinzu müssen noch sprachliche Kompetenzen für das Benennen von Zahlen und die Beschreibung mathematischer Operationen kommen. Auch hier sollte die Kindergartenzeit zur Integration von Kompetenzen genutzt werden, etwa durch das Einbauen von Zählen, die Abbildung von Größenverhältnissen oder das Abschätzen von Mengen in typische Alltagsaktivitäten.

Kinder auf natürliche und spielerische Weise in Gespräche zu verwickeln, ihnen Wege zu zeigen, wie man sich die Welt durch Quantifizierung und Bilder zugänglich macht, sind wichtige Elemente einer frühkindlichen Bildung. Eine entspannte frühkindliche Bildung ermöglicht es, späteres Lernen gelassener anzugehen.

8 Literatur

- Andersen, S. L. (2003). Trajectories of Brain Development: Point of Vulnerability or Window of Opportunity? *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 27(1-2), 3-18.
- Arbinger, R. (2001). *Entwicklung des Denkens* (3., überarb. Aufl. ed.). Landau: Empirische Pädagogik.
- Astington, J. W. (2000). *Wie Kinder das Denken entdecken*. München: Reinhardt.
- Baddeley, A. (2003). Working memory: Looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(10), 829-839. doi: Doi 10.1038/Nrn1201
- Bailey, D. B. (2002). Are Critical Periods Critical for Early Childhood Education? The Role of Timing in Early Childhood Pedagogy. *Early Childhood Research Quarterly*, 17(3), 281-294.
- Baillargeon, R. (1991). Reasoning about the height and location of hidden objects in 4.5-6.5 month-old infants. *Cognition*, 38(13-42).
- Bartsch, K., & Wellmann, H. (1995). *Children talk about the mind*. New York: Oxford University Press.
- Berk, L. E. (2005). *Entwicklungspsychologie*. München: Pearson.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: Bradford Books, MIT Press.
- Carey, S. (2000). Science education as conceptual change. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 21(1), 13-19.
- Chi, M. T. H. (1978). Knowledge structures and memory development. In R. S. Siegler (Ed.), *Children's thinking: What develops?* (pp. 73-96). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Cooper, S. J. (2005). Donald O. Hebb's synapse and learning rule: a history and commentary. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 28(8), 851-874.
- de Villiers, J. G. d. (2000). Language and theory of mind: what are the developmental relationships. In S. Baron-Cohen, H. Tager-Flusberg & D. Cohen (Eds.), *Understanding other minds: Perspectives from developmental cognitive neuroscience*. Oxford: Oxford University Press.

- Diamond, A., Prevor, M. B., Callender, G., & Druin, D. P. (1997). Prefrontal cortex cognitive deficits in children treated early and continuously for PKU. *Monographs of the Society for Researching Child Development*, 64(4), 1-208.
- Feigenson, L., Dehaene, S., & Spelke, E. (2004). Core systems of number. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(7), 307-314.
- Flavell, J. H. (1999). Cognitive development: Children's knowledge about the mind. *Annual Review of Psychology*, 50, 21-45.
- Gelman, S. A., & Markman, E. M. (1986). Categories and induction in young children. *Cognition*, 23(3), 183-209.
- Gentner, D. (2003). Why we're so smart *Language in mind: Advances in the study of language and thought*. (pp. 195-235). Cambridge, MA: MIT Press.
- Giedd, J. N., Blumenthal, J., Jeffries, N. O., Castellanos, F. X., Liu, H., Zijdenbos, A., . . . Rapoport, J. L. (1999). Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study. *Nature Neuroscience*, 2(10), 861-863.
- Gogtay, N., Giedd, J. N., Lusk, L., Hayashi, K. M., Greenstein, D., Vaituzis, A. C., . . . Thompson, P. M. (2004). Dynamic Mapping of Human Cortical Development During Childhood Through Early Adulthood. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(21), 8174-8179.
- 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(1), 26-37.
- Goswami, U. (2004). Neuroscience and education. *British Journal of Educational Psychology*, 74, 1-14.
- Grazzani, I., & Ornaghi, V. (2012). How do use and comprehension of mental-state language relate to theory of mind in middle childhood? *Cognitive Development*, 27(2), 99-111. doi: 10.1016/j.cogdev.2012.03.002
- Greenough, W. T., Black, J. E., & Wallace, C. S. (2008). Experience and Brain Development *Brain Development and Cognition* (pp. 186-216): Blackwell Publishers Ltd.
- Hale, C. M., & Tager-Flusberg, H. (2003). The influence of language on theory of mind: a training study. *Developmental Science*, 6(3), 346-359.
- Hamlin, J. K., Wynn, K., & Bloom, P. (2007). Social evaluation by preverbal infants. [10.1038/nature06288]. *Nature*, 450(7169), 557-559. doi: http://www.nature.com/nature/journal/v450/n7169/supinfo/nature06288_S1.html
- Hasselhorn, M., & Schneider, W. (2007). Gedächtnisentwicklung. In M. Hasselhorn & W. Schneider (Eds.), *Handbuch der Psychologie* (pp. 26-37). Göttingen: Hogrefe
- Hebb, D. O. (1949). *The organisation of behavior. A neuropsychological theory*. New York: Wiley.
- Helmke, A. (2006). *Unterrichtsqualität: Erfassen, Bewerten, Verbessern* (4 ed.). Seelze: Kallmeyer-sche Verlagsbuchhandlung.
- Huttenlocher, P. R., & Dabholkar, A. S. (1997). Regional differences in synaptogenesis in human cerebral cortex. *Journal of Comparative Neurology*, 387(2), 167-178.
- Imai, M., Saalbach, H., & Stern, E. (2010). Are Chinese and German children taxonomic, thematic or shape biased?: Influence of classifiers and cultural contexts. *Frontiers in Psychology*, 1:194, 1-10. doi: 10.3389/fpsyg.2010.00194
- Mandler, J. M. (1992). How to build a baby: II. Conceptual primitives. *Psychological Review*, 99(4), 587-604.
- McCrink, K., & Wynn, K. (2007). Ratio Abstraction by 6-Month-Old Infants. *Psychological Science*, 18(8), 740-745.
- Munakata, Y., Casey, B. J., & Diamond, A. (2004). Developmental cognitive neuroscience: progress and potential. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(3), 122-128. doi: DOI 10.1016/j.tics.2004.01.005

- Onishi, K. H., & Baillargeon, R. (2005). Do 15-Month-Old Infants Understand False Beliefs? *Science*, 308(5719), 255-258. doi: 10.1126/science.1107621
- Reusser, K. (2006). Jean Piagets Theorie der Entwicklung des Erkennens. In W. Schneider & F. Wilkenin (Eds.), *Enzyklopädie der Psychologie. Serie Entwicklungspsychologie. Band 1: Theorien, Modelle und Methoden der Entwicklungspsychologie* (pp. 91-189).
- Saalbach, H., Imai, M., & Schalk, L. (2012). Grammatical Gender and Inferences About Biological Properties in German-Speaking Children. *Cognitive Science*, 36(7), 1251-1267. doi: DOI 10.1111/j.1551-6709.2012.01251.x
- Saalbach, H., & Schalk, L. (2011). Fragen stellen hilft: Die Aktivierung von Vorwissen fördert die Nutzung kategorialer Beziehungen in Wortlernaufgaben bei jungen Kindern. In F. Vogt, M. Leuchter, A. Tettenborn, U. Hottinger, M. Jäger & E. Wannack (Eds.). Münster: Waxmann.
- 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.
- Siegler, R., DeLoache, J., & Eisenberg, N. (2008). *Entwicklungspsychologie im Kindes- und Jugendalter*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Sowell, E. R., Peterson, B. S., Thompson, P. M., Welcome, S. E., Henkenius, A. L., & Toga, A. W. (2003). Mapping cortical change across the human life span. *Nature Neuroscience*, 6(3), 309-315. doi: Doi 10.1038/Nn1008
- Spelke, E. S. (1991). Physical knowledge in infancy: Reflections on Piaget's theory. In S. Carey & R. Gelman (Eds.), *The epigenesis of mind: Essays on biology and cognition* (pp. 133-169). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Stern, E. (1998). Die Entwicklung schulbezogener Kompetenzen: Mathematik. In F. E. Weinert (Ed.), *Entwicklung im Kindesalter* (pp. 95-113). Weinheim: Psychologie Verlagsunion.
- Stern, E. (2002). Wie abstrakt lernt das Grundschulkind? In H. Petillon (Ed.), *Individuelles und soziales Lernen in der Grundschule - Kinderperspektive und pädagogische Konzepte* (pp. 27-42). Opladen: Leske + Budrich.
- Stern, E. (2008). Verpasste Chancen? Was wir aus der LOGIK-Studie über den Mathematikunterricht lernen können. In W. Schneider (Ed.), *Entwicklung von der Kindheit bis zum Erwachsenenalter: Befunde der Münchner Längsschnittstudie LOGIK* (pp. 187-202). Weinheim: Beltz.
- Tomasello, M. (1999). *The cultural origins of human cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Vosniadou, S. (Ed.). (2008). *International handbook of research on conceptual change*. New York: Routledge.
- Vygotsky, L. S. (1962). *Thought and language*. Oxford, England: Wiley.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Waxman, S. R., & Markow, D. B. (1995). Words as invitations to form categories: Evidence from 12- to 13-month-old infants. *Cognitive Psychology*, 29(3), 257-302.
- Weinert, F. E. (Ed.). (1998). *Entwicklung im Kindesalter*. Weinheim: Beltz.
- Weinert, F. E., & Helmke, A. (1997). *Entwicklung im Grundschulalter*. Weinheim: Beltz.
- Wellman, H., & Lagattuta, K. (2004). Theory of mind for learning and teaching: The nature and role of explanation. *Cognitive Development*, 19, 479-497.
- Wellmann, H., & Gelman, S. A. (1998). Knowledge acquisition in foundational domains. In W. Damon, D. Kuhn & R. Siegler (Eds.), *Handbook of child psychology* (Vol. 2: Cognition, Perception & Language, pp. 523-573). New York: Wiley.
- Wynn, K. (1998). Psychological foundations of number: numerical competence in human infants. *Trends Cogn Sci*, 2(8), 296-303. doi: 10.1016/s1364-6613(98)01203-0
- Ziv, M., & Frye, D. (2004). Children's understanding of teaching: The role of knowledge and belief. *Cognitive Development*, 19(4), 457-477.