

Die Entwicklung von Alltagskonzepten zur Erfassung der natürlichen Umwelt im Kindesalter

*Trix Cacchione*¹ & *Sebastian Tempelmann*^{2,3}

Universität Zürich¹

Freie Universität Berlin²

Pädagogische Hochschule Zentralschweiz-Luzern³

Lange vor dem Schuleintritt und dem Beginn der formalen Bildung über Naturgesetze und -phänomene haben Kinder schon ein reiches Wissen über die sie umgebende physikalische und biologische Umwelt. Dieses Wissen ist tief in der Alltagserfahrung verwurzelt und kann erheblich von der wissenschaftlichen Beschreibung natürlicher Phänomene und Zusammenhänge abweichen. Alltagswissen muss vor allem eines gewährleisten: die Umwelt in einer Weise für das Kind strukturiert und vorhersehbar gestalten, die Orientierung und zielgerichtetes Handeln ermöglicht. Alltagskonzepte, die sich für das Kind während vieler Jahre bewährt haben, lassen sich durch formale Bildung und das Aufzeigen von Gegenevidenzen oft nur schwer verändern. Es ist also wichtig, dass Bildungsbemühungen den vorhandenen kindlichen Konzepten und subjektiven Theorien Rechnung tragen und diese, in einem interaktiven Prozess, gemeinsam mit dem Kind aufgreifen, analysieren und – wo notwendig – umstrukturieren oder gar schrittweise ersetzen.

Wie kommen Kinder zu ihrem intuitiven Wissen über die Welt? Relative Einigkeit besteht darüber, dass Wahrnehmung und Handlung die beiden wichtigsten Informationskanäle sind, über die kindliches Wissen vermehrt und optimiert werden kann. Bis heute umstritten ist, welchen Anteil vererbte Wissens Elemente und Mechanismen am kindlichen Weltwissen haben. Erwerben Kinder ihr Wissen vollständig und ausschliesslich aufgrund von Erfahrung und Lernen? Oder werden ihnen zumindest wenige, grundsätzliche Wissens Elemente, die so

fundamental wichtig sind, dass sie ihrem Träger einen selektiven Vorteil verschaffen, bereits mit in die Wiege gelegt? Obwohl die Mehrheit der Autoren heute eine interaktive Perspektive einnimmt, führte die Anlage/Umwelt-Debatte (siehe Spelke, 1998, zur Empirismus-Nativismus-Debatte) zu einer breiten Palette unterschiedlicher Auffassungen darüber, wann und wie genau sich naive Konzepte ausbilden, wie sie verwendet werden und wie sie sich im Verlauf der Entwicklung ändern (Rakison, 2010).

Als Vertreter einer konstruktivistischen Sichtweise ging Jean Piaget (1929,1954), einer der Pioniere der Erforschung kindlicher kognitiver Entwicklung, davon aus, dass Kinder nur mit einer Anzahl Reflexen ausgestattet zur Welt kommen und ihr Wissen während der Ontogenese schrittweise durch die aktive sensumotorische Auseinandersetzung mit der Umwelt erwerben. Er lehnte die Vorstellung von angeborenen Wissens-elementen ab und nahm an, dass Kinder erst nach Vollendung ihres ersten Lebensjahres in der Lage seien, sich Objekte auch unabhängig von ihrer direkten Wahrnehmung als überdauernd vorzustellen und folglich vorher keinerlei Wissen über Gegenstände und Phänomene ausserhalb ihrer selbst generieren könnten. Diese Vorstellung vom Primat der sensumotorischen Handlung gegenüber dem Denken impliziert, dass frühes Wissen rudimentär und fehlerhaft ist und im Verlauf der Entwicklung zum Erwachsenen-zustand eine fundamentale Veränderung erfährt. Die entwicklungspsychologische Forschung der letzten Jahrzehnte bearbeitete die von Piaget aufgeworfenen erkenntnistheoretischen Fragen eingehend und hinterfragte in der Folge seine konstruktivistischen Postulate kritisch. Vor allem die sich mehrenden Befunde über frühe Kompetenzen im Säuglingsalter führten zu einem Wiederaufleben nativistischer Erklärungsansätze und dem Postulat, dass gewisse Grundannahmen über die Naturgesetze angeboren seien (Baillargeon, 1993; Spelke, 1994; Spelke, Breinlinger, Macomber & Jacobson, 1992). Angeborenes sog. Kernwissen (*core knowledge*, vgl. dazu z.B. Spelke & Kinzler, 2007) soll sich durch evolutionäre Adaptation an

besonders reliable Umweltprinzipien herausgebildet haben und wird somit auch mit nichtmenschlichen Spezies geteilt (Cacchione & Call, 2010a,b; Cacchione, Call & Zingg, 2009; Santos, 2004). Es befähigt Organismen, grundlegende Gegebenheiten der physischen oder sozialen Umwelt auch ohne langjährige Erfahrung oder explizite Auseinandersetzung zu verstehen und erfährt folglich keinen fundamentalen Wandel im Verlauf der Ontogenese, sondern wird nur zusätzlich angereichert, spezifiziert und ausdifferenziert (vgl. Baillargeon, 2004; Baillargeon, Li, Ng & Yuan, 2009; Carey & Spelke, 1996; Leslie, 1994; Spelke, 1994; Spelke et al., 1992; Spelke & Kinzler, 2007; Wellman & Gelman, 1998). Kernwissensbestände bleiben also über die gesamte Lebensspanne hinweg die zentralen Wissens Elemente der Kognition.

Im Folgenden wird ein Überblick über zentrale kindliche Konzepte und Wissens Elemente in den Bereichen intuitive Physik, intuitive Biologie, intuitive Kosmologie und intuitive Psychologie gegeben und ihre Entwicklung anhand ausgesuchter empirischer Belege illustriert.

1. Alltagswissen über die physikalische Umwelt

Jean Piaget war einer der Pioniere bei der Erforschung des frühkindlichen physikalischen Wissens (Piaget, 1929, 1954). Sein Interesse am kindlichen Wissen über die physikalische Welt ergab sich als logische Konsequenz aus seiner erkenntnistheoretischen Haltung, die er später in der genetischen Epistemologie darlegte (Piaget, 1973; Reusser, 2006). Seine Arbeiten eröffneten einen faszinierenden Einblick in die Entwicklung des physikalischen Alltagswissens bei Kindern. Auf der Grundlage von experimentellen Studien und Beobachtungen formulierte er zentrale Hypothesen bezüglich des kindlichen Verständnisses von Objekten, Raum, Zeit und Kausalität. Dies motivierte nachfolgende Forschergenerationen dazu, sich mit den von ihm aufgeworfenen Fragen intensiv auseinander zu setzen. Bis heute wird der intuitiven Physik als grundlegende

Domäne bei der Erforschung allgemeiner Fragen des Wissenserwerbs grösste Bedeutung zugemessen (Wellman & Gelman, 1998).

1.1. Der erste Lebensabschnitt: Grundlagenwissen über das Verhalten physikalischer Körper

Der von Piaget angenommene Entwicklungsverlauf muss auf der Grundlage zahlreicher empirischer Belege der Nachfolgeforschung mindestens in zweierlei Hinsicht korrigiert werden. Piaget unterschätzte in vielen Bereichen die Fähigkeiten, die Kinder bereits während der ersten Lebensjahre entwickeln. Andererseits überschätzte er deutlich ihre Kompetenzen in den späteren Entwicklungsjahren und zeichnete den „Endzustand“ der Entwicklung im Erwachsenenalter zu idealtypisch. Tatsache ist, dass Menschen über die gesamte Lebensspanne hinweg physikalische Alltagstheorien und Konzepte aufweisen, die nicht isomorph zu formalen physikalischen Gesetzmäßigkeiten sind (vgl. z.B. McCloskey, 1983). Die Forschung zum physikalischen Denken im Säuglings- und frühen Kindesalter der letzten Jahre bietet einen faszinierenden Einblick in die bereits erstaunlich vielfältig und zweckmässig strukturierte kognitive Welt der ersten Entwicklungsphase. Mit der Verschiebung des Forschungsfokus hin zu potentiell angeborenen Elementen untersuchten zahlreiche Studien ob und wie Säuglinge von dem Moment der Geburt an physikalische Ereignisse in ihrer Umwelt registrieren, repräsentieren und sogar antizipieren. Da Piaget davon ausging, dass Kinder ihr Wissen über das Verhalten physikalischer Objekte kontinuierlich aus der Manipulation dieser ableiten, untersuchte er das kindliche Suchverhalten und diagnostizierte erste Repräsentationen erst ab ca. 12 Monaten. Nachfolgende Studien, bei denen nicht das kindliche Suchverhalten, sondern ihr Blickverhalten gemessen wurde, zeigten, dass Kinder bereits zu einem Zeitpunkt Annahmen über das Verhalten von Objekten aufweisen, zu dem sie zur Objektmanipulation noch gar nicht fähig sind. So zeigen beispielweise bereits 2

Monate alte Säuglinge *Kontinuitätswissen*, das heisst, sie nehmen Objekte als in Zeit und Raum überdauernd an, auch dann wenn diese zeitweise verdeckt werden (Aguiar & Baillargeon, 1999, 2002; Baillargeon, 1987; Baillargeon & DeVos, 1991; Baillargeon, Spelke & Wasserman, 1985; Wang, Baillargeon & Paterson, 2005; Wilcox, Nadel & Rosser, 1996). Die Tatsache, dass bereits sehr junge Säuglinge physikalische Ereignisse im Einklang mit raumzeitlicher Kontinuität interpretieren (eine Fähigkeit, die von Piaget als Objektpermanenz bezeichnet wurde und die er als wichtigstes Kriterium für die Befähigung externe Entitäten zu repräsentieren gewertet hat), wird von einigen Autoren sogar zu den möglicherweise angeborenen Grundkonzepten gezählt (Spelke, 1994; Spelke et al., 1992; Spelke & Kinzler, 2007). Ebenso finden sich frühe Belege für die sich aus dem Kontinuitätsprinzip ableitbare *Soliditätsannahme*, d.h. die Annahme, dass materielle Dinge nicht denselben Ort zur selben Zeit einnehmen können und sich folglich auch nicht durcheinander hindurch bewegen können (vgl. Baillargeon & DeVos, 1991; Baillargeon et al., 1985; Durand & Lecuyer, 2002; Hespos & Baillargeon, 2001b; Spelke et al., 1992). Weiter wird die *Kohäsionsannahme* (Objekte bewegen sich als physisch zusammenhängende, stabil begrenzte Einheiten) zum angeborenen Wissensbestand gerechnet, dessen frühe Berücksichtigung im kindlichen Denken ebenfalls zahlreiche Studien belegen (vgl. Needham, 1999; Spelke & Van de Walle, 1993; Spelke, von Hofsten & Kestenbaum, 1989; Xu, Carey & Welch, 1999). Wie das Kontinuitätsprinzip hat auch das Kohäsionsprinzip eine fundamentale kognitive Funktion, liefert es doch ein Definitionskriterium, anhand dessen Kinder perzeptuelle Muster überhaupt als physikalische Objekte identifizieren können (Scholl, 2007). Neben der Kontinuitäts- und der Kohäsionsannahme wird auch das sog. Kontaktprinzip (Objekte nehmen nur dann Einfluss aufeinander, wenn sie sich berühren) als angeborene Grundkompetenz diskutiert, die möglicherweise die Basis für kausale Interpretationen legt (Michotte, 1963). Tatsächlich fanden sich Belege, dass Kinder bereits in ihrem ersten Lebensjahr die interne

mechanische Struktur eines Kollisionsereignisses extrahieren und auf raumzeitliche Abweichungen reagieren können (vgl. Cohen & Amsel, 1998; Leslie, 1984; Leslie & Keeble, 1987; Oakes, 1994). Trotzdem ist die Frage, ob derlei frühe kausale Intuitionen tatsächlich angeboren sind, sehr umstritten. Robuste Resultate fanden sich bisher nur mit etwas älteren Säuglingen (6-7 Monate), in einem Alter also, in dem sie bereits eingehende Erfahrung mit kausalen Abläufen gesammelt haben könnten (vgl. Cohen & Amsel, 1998; Cohen, Rundell, Spellman & Cashon, 1999; Oakes & Cohen, 1990; siehe auch Saxe & Carey, 2006). Ebenso wird die Annahme, dass die kausale Wahrnehmung die einzige Quelle aller späteren Formen kausalen Schliessens ist, zu Recht sehr stark bezweifelt (Saxe & Carey, 2006).

1.2. Zeit und Geschwindigkeit von bewegten Objekten richtig einschätzen

Zeit kann aus psychologischer Sicht äußerst vielfältig charakterisiert werden (vgl. Friedman, 1990). Ein Verständnis für die physikalische Zeit bezieht sich auf die Fähigkeit, die funktionale Beziehung von Zeit, Geschwindigkeit und Distanz, wie sie gemäß Newtonscher Mechanik postuliert wird, zu verstehen. Ein aus Sicht der Newtonschen Theorie (und der Philosophie Kants) plausibler Entwicklungsverlauf würde ein Primat des Zeitkonzeptes postulieren, aus dem sich erst in der Folge der Geschwindigkeitsbegriff ableiten lässt. Tatsächlich sind beide Konzepte einem langwierigen Entwicklungsprozess unterworfen und wenn überhaupt so ist es eher das Geschwindigkeitskonzept welches früher erworben wird. Auch in diesem Feld leistete Piaget Pionierarbeit. Seine prototypische Aufgabenstellung konfrontierte die Kinder mit zwei parallelen Gleisen, auf denen sich zwei Züge – entweder mit derselben oder mit verschiedenen Geschwindigkeiten – fortbewegten und dabei identische oder unterschiedliche Distanzen zurücklegten. Kinder im Alter von 4 bis 11 Jahren wurden dazu befragt, welcher der Züge länger unterwegs, schneller gefahren oder weiter gereist sei (Piaget, 1946a/b). Aus den

resultierenden Befunden dieser und analoger Aufgabenstellungen schloss Piaget, dass zunächst das Geschwindigkeitskonzept und das Distanzkonzept erworben werden, während das Zeitkonzept erst später aus diesen abgeleitet wird. Dies wurde von zahlreichen Nachfolgestudien, die auf derselben Methodologie beruhten, fast ausnahmslos bestätigt (z. B. Acredolo & Schmid, 1981; Crépault, 1979; Montangero, 1979; Richards, 1982; Siegler & Richards, 1979; Weinreb & Brainerd, 1975).

Spätere Studien erbrachten jedoch den Nachweis, dass Kinder sehr viel früher in der Lage sind Zeitdauern zu vergleichen, wenn sie nicht durch eine inadäquate Aufgabenstellung verwirrt werden (Anderson & Wilkening, 1990; Levin 1977, 1982; Wilkening, 1981, 1982). Wilkening (1981, 1982) gab Kindern jeweils zwei Dimensionen der Zeit-Geschwindigkeits-Distanz-Triade vor und ließ sie den Wert der dritten Dimension erschließen. Gaben Kinder beispielsweise Urteile darüber ab, welche Distanz verschieden schnelle Tiere auf der Flucht vor einem bellenden Hund zurücklegten, waren schon 5-Jährige fähig, die relevanten Informationen gemäß algebraischer Regeln zu verknüpfen und eine additive/subtraktive Regel anzuwenden, während 10-Jährige gemäß einer multiplikativen Regel integrierten. Obwohl 5-Jährige die Aufgabe normativ betrachtet falsch lösen, zeigen diese Befunde dennoch, dass sie im Gegensatz zu Piagets Modell ein quantitatives, funktionales Verständnis der Beziehung von Zeit und Geschwindigkeit haben. Dies legt den Schluss nahe, dass bereits 5-Jährige ein implizites Wissen über die funktionale Beziehung innerhalb der Zeit-Geschwindigkeits-Distanz-Triade aufweisen, dass jedoch das Distanzkonzept vor dem Geschwindigkeits- und dem Zeitkonzept erworben wird. Weiter legen diese Befunde die Annahme nahe, dass Kinder die direkten Relationen eher verstehen als die inversen: Beispielsweise fällt es Kindern leichter zu verstehen, dass *mehr* Geschwindigkeit/Reisezeit zu *mehr* zurückgelegtem Weg führt, während es ihnen schwere fällt, den Schluss zu ziehen, dass *mehr* Geschwindigkeit *weniger* Reisezeit bedeutet. Dies wurde in

späteren Studien bestätigt, in denen bereits 4-Jährige ein Verständnis für die direkten Beziehungen zeigten, aber erst 7-Jährige auch inverse Beziehungen korrekt beurteilten (Albert, Kickmeier-Rust & Matsuda, 2008; Matsuda, 1994, 2001). Auch in Simulationen konnektionistischer Modelle zum Erwerb von Zeit-, Geschwindigkeits- und Distanzkonzept emergierten Regeln und Netzwerke, die mit den von Wilkening nachgewiesenen Befunden übereinstimmten (Buckingham & Shultz, 2000).

Kürzlich konnte in einer einfachen Handlungsaufgabe sogar implizites Wissen über die Zeit-Geschwindigkeits-Distanz-Triade bei 24 Monate alten Kindern nachgewiesen werden (Möhring, Cacchione & Bertin, in Druck). Kindern wurde ein Zug gezeigt, der zunächst auf einer offenen Bahnstrecke fuhr, welche ihn anschliessend in einen Tunnel führte. Ein Tonsignal liess Rückschlüsse über die Dauer der Reisezeit zu. Wenn der Zug im Tunnel zum Stillstand kam, bat man die Kinder, ihn in einer von zwei verschiedenen Tunnelöffnungen zu suchen. Das Such- und antizipatorische Blickverhalten der Kinder zeigte, dass sie bereits im Alter von 24 Monaten die zurückgelegte Distanz korrekt aus der wahrgenommenen Geschwindigkeit und Reisezeit erschliessen konnten.

1.3. Antizipation von Objektbewegungen und Zielwurf

Welche Trajektorien beschreiben Objekte, nachdem sie in Bewegung gesetzt worden sind? Seit Newton sind die physikalischen Prinzipien, gemäß derer Kräfte auf Objekte in Raum und Zeit einwirken, eigentlich allgemein bekannt. Wie aber sind diese Zusammenhänge im kindlichen Alltagswissen repräsentiert? Beispielsweise erfahren Kinder von Geburt an das Wirken der Gravitationskraft an ihrem eigenen Körper und können deren allgegenwärtigen Einfluss auch in der physikalischen Umwelt beobachten. Aber wie repräsentieren Kinder die Wirkung der Schwerkraft und anderer Kräfte, die die Bewegungsbahn von physikalischen

Körpern auf ihrem Weg durch Raum und Zeit beeinflussen? Die Forschung zeigt, dass nicht nur Kinder, sondern auch Erwachsene oft von den Newtonschen Prinzipien erheblich abweichende Vorstellungen darüber aufweisen, wie sich bewegte Objekte verhalten. Andererseits sind die Intuitionen über die Wirkung der Schwerkraft schon sehr früh nachweisbar. Eines der meist untersuchten Konzepte ist in diesem Zusammenhang der sog. „straight-down belief“. Obwohl Wissen über die Schwerkraft nicht zu den angeborenen Kernkonzepten gezählt wird (Spelke et al., 1992), zeigt die Messung von Blickdauern, dass bereits 3 Monate alte Babys erwarten, dass ein Objekt senkrecht zu Boden fällt, wenn es durch kein anderes Objekt gestützt wird (Baillargeon, Kotovsky & Needham, 1995). Durch die bereits in einer frühen Entwicklungsphase zahlreich vorhandenen Erfahrungen mit fallenden Objekten, erwerben Kinder die globale Annahme, dass alle physikalischen Objekte, die nicht auf anderen Objekten aufliegen, in einer senkrechten Linie zu Boden fallen. Beispielsweise suchen Kinder ein fallendes Objekt fast immer am tiefsten Punkt in Schwerkraftrichtung, unabhängig davon, ob andere Objekte seinen Fall z.B. umgelenkt haben könnten. Wie das kindliche Verhalten dadurch beeinflusst wird, konnte in verschiedenen Untersuchungen an Vorschulkindern eindrücklich demonstriert werden (Hood, 1995, 1998; Kim & Spelke, 1992, 1999).

Hood (1995,1998) untersuchte wie 2 bis 3 Jahre alte Kinder Wissen über Objektsolidität und Schwerkraft anwenden, um ein unsichtbar verlagertes Objekt zu lokalisieren. Die Kinder wurden gebeten, ein Objekt zu suchen, das abwechslungsweise in eine von drei sich kreuzenden, undurchsichtigen Röhren geworfen wurde, die zu verschiedenen Auffangbehältern führten. Trotz Gegenevidenz suchten Kinder das Objekt oft in dem Auffangbehälter, wo es nach senkrechtem Fall gelandet wäre (d.h. wenn keine Röhre seinen Fall umgelenkt hätte). Dieses von Hood als Schwerkraftfehler bezeichnete Verhalten führt dazu, dass in anderen Zusammenhängen diagnostizierbares Wissen über die Solidität von Objekten (hier etwa der den Fall umlenkenden

Röhre) vollständig unterdrückt wird. Dieser Fehler wird nicht beobachtet, wenn transparente Röhren, eine horizontale Objektbewegung oder eine Bewegung von unten nach oben präsentiert werden, was darauf schließen lässt, dass das Auftreten des Fehlers tatsächlich an die schwerkraftrelevante Vertikale gebunden ist (Hood, 1998; Hood, Santos & Fieselmann, 2000). Vieles deutet darauf hin, dass es sich hierbei um sehr stark körperbasierte Reaktionen handelt, die möglicherweise zu einem erheblichen Anteil durch automatische modulare Verarbeitungsprozesse gesteuert werden. Ein ähnlicher Fehler wurde auch bei nichtmenschlichen Primaten gefunden (Cacchione & Burkart, 2012; Cacchione & Call, 2010a). Mit der mit zunehmendem Entwicklungsstand verbesserten Inhibitionskontrolle gelingt es dem Kind schließlich, solche Schwerkraftinterpretationen in jenen Kontexten zu unterdrücken, in denen sie nicht angebracht sind (Hood, Wilson & Dyson, 2006).

Kim und Spelke (1999) untersuchten, wie Kinder die Wirkung von Schwerkraft und Massenträgheit auf den Bewegungsverlauf von Objekten beurteilen. Sie befragten Kinder im Alter von 2 bis 6 Jahren welche Trajektorie ein Ball beschreiben würde, der über eine leicht geneigte Tischplatte hinaus rollt. Dabei wurden drei Antwortmöglichkeiten zur Wahl gestellt: (a) er fällt senkrecht nach unten (negiert die Wirkung der Trägheit), (b) er folgt einer parabelförmigen Falllinie (korrekt) und (c) er bewegt sich linear weiter (negiert die Wirkung der Schwerkraft). Bis zum Alter von 4 Jahren berücksichtigten Kinder praktisch ausschliesslich das Wirken der Schwerkraft und prognostizierten eine senkrechte Falllinie. Im Alter von 6 Jahren berücksichtigte die Mehrheit der Kinder beide Dimensionen und antizipierte eine parabolische Falllinie. Bereits 3- und 4-Jährige beurteilten jedoch die parabolische Trajektorie als „natürlicher“, wenn die drei oben genannten Varianten des Fallverlaufes als Filme dargeboten und nicht einfach die wahrscheinlichste Endstation des fallenden Objektes abgefragt wurde. Auch ältere Kinder und sogar Erwachsene haben unter Umständen Schwierigkeiten, die Falllinie eines

Objektes richtig einzuschätzen. Muss beurteilt werden, wie sich ein Ball verhält, der aus einem fahrenden Zug fällt, äußern viele Kinder und Erwachsene die Ansicht, der Ball falle senkrecht nach unten (Kaiser, Proffitt & McCloskey, 1985; McCloskey, 1983). Mit einer Variation dieses Paradigmas lieferte Krist (2001) einen Nachweis für die von McCloskey und Kollegen geäußerte These, dass naive Konzepte bei der Planung von Handlungen eine wichtige Rolle spielen könnten. Bei dem Versuch mit einem Ball eine Zielmarkierung am Boden zu treffen während sie selbst in Bewegung waren, liessen Kinder mit „straight-down belief“ den Ball signifikant später los, nämlich erst über dem Ziel. Im Unterschied dazu liessen Kinder, die bereits richtigerweise eine parabolische Trajektorie prognostizierten (d.h. sowohl Schwerkraft als auch Trägheit berücksichtigten) den Ball in der Handlungsbedingung deutlich früher los. Allerdings zeigte sich auch bei Krist (2001) dass selbst 12-Jährige nur ein äußerst fragiles Wissen über die Wirkung der Massenträgheit aufwiesen.

Die bisher beschriebenen Studien machen deutlich, dass naive Konzepte über Kräfte, die die Bewegungsbahn von Objekten beeinflussen, schon früh vorhanden sind, oft mehr oder weniger automatisch abgerufen werden und je nach Aufgabenkontext sowohl Urteile als auch Handlungen beeinflussen können. Werden also sowohl Handlungen als auch Urteile einheitlich aufgrund derselben naiven Konzepte generiert? Oder führen verschiedene, mehr oder weniger unabhängige Verarbeitungsmodi zu sich widersprechenden Urteilen und Handlungen (sog. *Dissoziationen*)? Diese Fragestellung führte zu einer großen Reihe von Untersuchungen zum Zielwurf (Krist, 2003; Krist, Fieberg & Wilkening, 1993; Krist, Loskill & Schwarz, 1996). Kinder wurden gebeten die Abwurfgeschwindigkeit einzuschätzen, mit der ein Ball von einer horizontalen Plattform gestoßen werden musste, damit er bei einer Zielmarkierung am Boden aufschlug. Die (vertikale) Abwurfhöhe und die (horizontale) Zieldistanz wurden faktoriell variiert. Für jede der Höhe-Distanz-Kombinationen wurde erhoben, wie gut die Kinder die

erforderliche Geschwindigkeit auf einer Ratingskala einschätzen oder durch das Anstoßen des Balles selber produzieren können. Beim Handeln gelang es bereits 5-Jährigen die Geschwindigkeiten korrekt zu produzieren: je weiter das Ziel, je tiefer die Abwurfhöhe, desto stärker wurde der Ball angestoßen und umgekehrt. Die Urteile hingegen waren mehrheitlich fehlerhaft. Zahlreiche Kinder und selbst Erwachsene begründeten ihre Urteile auf einer inversen Höhenheuristik (je höher die Abwurfhöhe, desto höher die Abwurfgeschwindigkeit; Krist et al., 1993). Dieser Befund wurde in zahlreichen Experimenten bestätigt und spezifiziert (Daum & Krist, 2009; Huber & Krist, 2004; Krist et al., 1996). Handlungen und Urteile sind also keineswegs kohärent, sondern unterscheiden sich erstaunlich stark, über alle Altersstufen hinweg. Dieses in vielen Bereichen der intuitiven Physik und der konzeptuellen Entwicklung insgesamt beobachtete Phänomen wird gemeinhin als Dissoziation bezeichnet.

1.4. Kindliche Intuitionen über Materie: Masse, Volumen und Dichte

Materie ist eine fundamentale Domäne der intuitiven Physik und behandelt das kindliche Alltagswissen über Objekte in allen Aggregatzuständen (Festkörper, Flüssigkeiten und Gase). Auf der makroskopischen Ebene wird Materie durch Masse, Volumen und Dichte definiert. Von den ersten Lebensmonaten an erfahren Kinder unterschiedlichste Aspekte der Materie. Sie lernen täglich neue Gegenstände kennen, die sich aus ganz verschiedenen Materialien zusammensetzen und die daher unterschiedlichste Dichten aufweisen. Trotzdem haben Kinder und auch Erwachsene oft große Schwierigkeiten, Dichte zu verstehen. Formal definiert sich Dichte als das Verhältnis von Masse und Volumen eines Körpers. Für viele Menschen ist jedoch der Unterschied von Masse und Gewicht kaum zu begreifen, was dazu führt, dass auch ihr Verständnis der Dichte erheblich erschwert wird. Der Unterschied von Masse und Gewicht ist nicht direkt wahrnehmbar, denn tatsächlich sind Masse und Gewicht unter dem konstanten

Einfluss der Schwerkraft direkt proportional. Im Unterschied zur Masse aber kann das Gewicht (wie auch das Volumen und die Dichte) eines Körpers durch physikalische Transformationen wie Erhitzen oder Deformieren verändert werden. Es ist naheliegend, dass kindliche Alltagskonzepte diese physikalischen Prinzipien nur teilweise widerspiegeln. In zahlreichen Studien wurden Kinder vor und nach bestimmten physikalischen Transformationen über die Masse und das Gewicht bestimmter Gegenstände befragt (Andersson, 1990; Driver, 1985; Galili & Bar, 1997; Liu & Lesniak, 2006; Piaget, 1974). Die meisten kamen zum Schluss, dass die Beziehung von Masse, Volumen und Dichte für viele Kinder offenbar kaum verständlich ist und dass sich darum die schulische Instruktion in diesem Bereich schwierig gestaltet (Smith, Snir & Grosslight, 1992; Vicente, 2009).

Das kindliche Massenkonzept ist zwar bezogen auf die Anforderungen des Alltages äußerst adaptiv, stimmt aber in weiten Teilen nicht mit den formalen physikalischen Gesetzmäßigkeiten überein. Werden Kinder im Alter zwischen 4 und 11 Jahren gebeten, Festkörper, Flüssigkeiten und Gase entlang der Dimension „materiell-immateriell“ zu kategorisieren, äußern viele die Vermutung, dass auch Elektrizität, Temperatur, Echo oder Schatten materielle Entitäten seien (Carey, 1991; DeVries, 1987; Piaget, 1960). Offenbar sind jüngere Kinder sehr stark von der physischen Wahrnehmbarkeit des Gewichts abhängig, um dieses beurteilen zu können. Beispielsweise gaben vierjährige und sechsjährige Kinder oft an, ein Reiskorn oder ein Stück Styropor wiege nichts (Smith, Carey & Wiser, 1985). Erst später, mit etwa 9 Jahren sind Kinder fähig, Gewicht auch unabhängig von sensorischen Eindrücken zu beurteilen und zu verstehen, dass auch eine ganz kleine Masseneinheit noch ein Gewicht haben muss, z.B. wenn ein Objekt in immer kleinere Einheiten unterteilt wird oder wenn Wasser verdampft (Carey, 1991).

Die Unfähigkeit, zwischen Dichte und Gewicht zu differenzieren, wird oft als die Hauptursache für die großen Schwierigkeiten der Kinder im Umgang mit der Dichte genannt (Hewson, 1986; Piaget & Inhelder, 1974; Smith et al., 1985, 1992). Kloos (2007) hingegen schlägt vor, dass Dichte für Kinder schwer fassbar ist, weil sie nur schwer nachvollziehen können, dass Masse und Volumen gegensätzliche Effekte auf die Dichte ausüben. Ein weiterer Erklärungsansatz schließlich nimmt an, dass Kinder Dichte nur schwer konzeptualisieren können, solange ihnen das dafür notwendige Verständnis für Proportionalität noch fehlt. Es gibt auch Hinweise dafür, dass erst ein Verständnis von Masse, Volumen und Dichte auf dem mikroskopischen Level (welches durch formale Instruktion geschaffen werden muss), das kindliche Verständnis für diese Phänomene auf einem makroskopischen Level verbessern kann (Stavridou, Demetriadis & Grammenos, 2004).

Smith et al. (1985) baten Kinder in non-verbalen Aufgaben das Gewicht, die Größe und das Material (Dichte) verschiedener Objekte zu vergleichen. Beispielsweise mussten sie Objekte in Materialkategorien sortieren (mit Dichte als relevantem Faktor), beurteilen, welches Gewicht eine Brücke zum Einsturz bringt und ob ein Gegenstand in ein Behältnis passt (mit Größe als relevantem Faktor). Die Unterscheidung von Größe und Gewicht gelang schon dreijährigen Kindern problemlos. Im Gegensatz dazu fiel die Unterscheidung von Gewicht und Dichte vielen Kindern bis ins Schulalter hinein sehr schwer.

Ein weiteres, oft zur Untersuchung der Gewichts-Dichte-Differenzierung verwendetes non-verbales Paradigma, fokussiert auf das kindliche Verständnis des Auftriebs physikalischer Körper in Flüssigkeiten. Der Auftrieb umfasst als übergeordnetes Konzept sowohl das Sinken, als auch das Schweben eines Festkörpers in einem flüssigen Medium von spezifischer Dichte. Ist die Dichte des Festkörpers geringer als jene der umgebenden Flüssigkeit, schwebt der Körper, ist sie größer, sinkt er. In zahlreichen Studien zeigte sich, dass Kinder bis zum fortgeschrittenen

Schulalter große Mühe haben, Dichte als relevante Dimension zu erkennen (Halford, Brown & McThompson, 1986; Janke, 1995; Penner & Klahr, 1996; Smith et al., 1992). Die meisten Kinder fokussieren bei der Beurteilung, ob Objekte von unterschiedlicher Größe und Gewicht sinken oder schweben würden, tendenziell auf das Gewicht und lassen die Dichte als wichtigste Variable außer Acht. Insgesamt zeigen diese Studien, dass sich diese Konzepte nur diskontinuierlich entwickeln und wenig integriert werden. Es dauert viele Jahre, bis sich die Alltagskonzepte in diesem Bereich unter dem Eindruck des schulischen Lernens allmählich wandeln. Aus diesem Grund bietet sich dieser Bereich ganz besonders zur Untersuchung des Lernens und der Konzeptrevision an (Penner & Klahr, 1996). Die Fähigkeit zum Konzeptwandel (*conceptual change*) in diesem Bereich wurde in den letzten Jahren eingehend untersucht (Hardy, Jone, Möller & Stern, 2006; Kloos, 2007; Kloos & Somerville, 2001; Kloos & Van Orden, 2005; Unal, 2008). Kloos & Somerville (2001) zeigten, dass Alltagskonzepte von 3- 6-jährigen Kindern (z.B. dass schwerere/größere Objekte schneller sinken) besser überwunden werden können, wenn sie abgerufen und direkter Gegenevidenz ausgesetzt werden. Auch Hardy et al. (2006) konnten den Nachweis erbringen, dass 9-Jährige ihre Alltagskonzepte in diesem Bereich überwinden können, wenn eine intensive und adäquate Instruktion das Übernehmen wissenschaftlich fundierter Erklärungsmuster erleichtert. Zudem zeigte sich auch der positive Effekt von die Instruktion begleitenden manuellen Handlungen, um Alltagskonzepte durch wissenschaftliche Konzepte zu ersetzen (vgl. Unal, 2008).

2. Alltagswissen über biologische Phänomene und Gesetzmäßigkeiten

Was für den Bereich der intuitiven Physik gilt, kann man auch beim Studium der frühen Konzepte über lebende Organismen beobachten. Schon Neugeborene schauen länger und mit großem Interesse auf abstrakte Reizkonfigurationen, die den Eindruck der „Gesichtshaftigkeit“ vermitteln, als auf analoge Reizkonfigurationen, die nur zufällig

angeordnet sind (Goren, Sarty & Wu, 1975; Morton & Johnson, 1991). Es liegt nahe, dass die Evolution ein angeborenes Interesse für Augenhaftigkeit und Gesichter begünstigt hat, und dass diese Ausrichtung das Kind von Anfang an dabei unterstützt, lebende und nicht-lebende Entitäten zu unterscheiden und zu kategorisieren. Auch hier wirken Anlage und Erfahrung von allem Anfang an auf komplexe Weise zusammen, um biologische Alltagskonzepte und -theorien hervorzubringen und zunehmend auszudifferenzieren.

Die Fähigkeit in der Umwelt angetroffene „Objekte“ anhand der Dimension lebend/nicht-lebend zu kategorisieren, gehört sicherlich ebenso zur kognitiven Grundausstattung wie das Erkennen und Verfolgen von physikalischen Körpern (Opfer & Gelman, 2010): Sie kann bereits im Säuglingsalter nachgewiesen werden (Rakison & Poulin-Dubois, 2001), hat eine neurophysiologische Basis (Caramazza & Shelton, 1998) und wird in allen kulturellen Gemeinschaften und Sprachfamilien angetroffen (Atran, 1999; Diesendruck, 2003). Bereits im ersten Lebensjahr werden unterschiedliche Informationen herangezogen, um Lebendes von Nicht-Lebendem zu unterscheiden (Opfer & Gelman, 2010). Offenbar sind Säuglinge bereits in dieser frühen Lebensphase sensibel für Korrelationen zwischen Merkmalen der äußerlichen Erscheinung, Lautinformationen und dynamischer Information über das Bewegungsverhalten, welche alle in die Beurteilung einfließen und die Basis legen für die sich später entwickelnden Konzepte und Fähigkeiten wie das Verständnis der Zielgerichtetheit, der Animiertheit, der Intentionalität und der sog. *Theory of mind* (alltagspsychologisches Wissen über mentale Zustände und Prozesse bei anderen Menschen). Trotzdem bleibt das Verständnis für biologische Prozesse noch viele Jahre rudimentär und fehlerhaft. Beispielsweise sind Kindergartenkinder teilweise der Ansicht, dass Pflanzen nicht lebendig seien (Hatano et al. 1993; Opfer & Siegler, 2004), dass Menschen nicht eine „Art Tier“ seien (Carey, 1985; Coley, 1995; Johnson, Mervis & Boster, 1992) und haben

Schwierigkeiten, biologische Prozesse wie z.B. Krankheit zu erklären (Solomon & Cassimatis, 1999). Obwohl man heute nicht mehr davon ausgeht, dass Kinder zu irgendeinem Entwicklungszeitpunkt im Sinne Piagets als „animistisch“ bezeichnet werden können (vgl. z.B. Massey & Gelman, 1988), finden sich durchaus Evidenzen für Fehltritte, die durch das nicht gerechtfertigte Anwenden von „psychologischen Konzepten“ auf biologische Phänomene herrühren, beispielsweise die Vorstellung von Kindergartenkindern, dass Körperorgane selbsttätige Agenten seien (Inagaki & Hatano, 1993; Morris, Taplin & Gelman, 2000). Insgesamt erstaunt aber eher, wie kompetent bereits Kindergartenkinder über ihre biologische Umwelt urteilen können (Carey, 1985; Hatano et al., 1993). Schon 4- bis 5-Jährige beurteilen Steine, Puppen, Autos oder Schiffe als „nicht lebend“ (Dolgin & Behrend, 1984; Hatano et al., 1993; Richards & Siegler, 1984). Etwas schwerer fällt dieses Urteil im Falle von sich bewegenden, natürlichen Entitäten wie Wolken oder Flüssen (Carey, 1985). Ebenso verstehen Kinder früh, dass biologische Prozesse wie Wachstum, Heilung, Fortpflanzung und Krankheit ausschließlich Lebewesen, aber nicht kulturelle Artefakte betreffen können (Backscheider, Shatz, & Gelman, 1993; Bulloch & Opfer, 2009; Inagaki & Hatano, 1996; Rosengren, Gelman, Kalish & McCormick, 1991).

3. Kindliche Modelle der Erde: naive Kosmologie

Wie stellen sich Kinder die Erde vor? Im Bereich der Entwicklung der naiven Kosmologien wird besonders augenfällig, dass Kinder um ein wissenschaftliches Modell der Erde zu verinnerlichen, über ihre direkte Wahrnehmung hinausgehen müssen und auf Informationen aus kulturellen Kanälen angewiesen sind. Die Erde als runder Himmelskörper wie sie als Globus oder auf Bildern dargestellt wird, kann das Kind nicht direkt wahrnehmen. Vosniadou und Brewer (1992, 1994) untersuchten die kindlichen Modelle der Erde. Sie baten Kinder im Alter von 5 - 9 Jahren die Erde zu zeichnen und zu beschreiben und stellten Fragen

wie z.B. „Wo ist der Himmel?“, „Was ist unter der Erde?“ oder „Wohin gelangst du, wenn du auf einer geraden Linie immer weiter läufst?“. Die jüngsten Kinder stellten sich die Erde als eine flache Ebene vor, von deren Rand man fallen könnte und waren der Ansicht, dass aus diesem Grund „unterhalb“ der Erde keine Menschen leben könnten. Dieses erste mentale Modell der Erde bezeichnen die Autoren als *physikalisch*, weil die Kinder die Erde scheinbar wie ein physikalisches Objekt behandeln. Sie schreiben auch der Erde die für gewöhnlich mit physikalischen Körpern verknüpften Eigenschaften wie Kontinuität und Solidität zu, nehmen das vertikale Wirken der Schwerkraft an und gehen davon aus, dass folglich alle nicht gestützten Objekte herunterfallen würden. Das initiale Konzept der Erde ist also stark von der kindlichen Wahrnehmung der physikalischen Umgebung geprägt (lokale Weltsicht). Bei älteren Kindern identifizierten Vosniadou und Brewer (1992; 1994) drei weitere Modelltypen: das duale Modell, die hohle Erde und die abgeflachte Kugel. Vosniadou und Brewer gehen davon aus, dass alle Folgemodelle im Versuch entstanden sind, das initiale Konzept der flachen Scheibe mit später erworbener, wissenschaftlicher Information über die Erde als Himmelskörper zu vereinigen und bezeichnen diese darum als *synthetische* Modelle. Alle drei Folgemodelle konzipieren die Erde also gleichzeitig als flach und rund. Das duale Modell der Erde (*dual earth*) umfasst beispielsweise eine Scheibe, auf der die Leute leben und einen runden Körper, der im Himmel verortet wird. Kinder die ein hohles Erdmodell aufweisen (*hollow earth*), konzipieren die Erde als ein hohles Gefäß, welches eine Ebene enthält, auf der die Leute leben. Verschiedene kulturvergleichende Studien zeigten, dass das initiale flache Modell der Erde mit je nach Kulturkontext unterschiedlichen Informationen synthetisiert wird (Diakidoy, Vosniadou & Hawks, 1997; Samarapungavan, Vosniadou & Brewer, 1996).

Vosniadou und Kollegen gehen davon aus, dass die initialen, die späteren synthetischen und schließlich die wissenschaftlichen Konzepte der Erde qualitativ verschieden und

inkommensurabel sind. Dies legt aus ihrer Sicht nahe, dass die konzeptuelle Entwicklung in diesem Bereich einem Theorienwandel gleicht (vgl. Carey 1991, 1995). Diese Sicht wird durch spätere Arbeiten bestritten und auch für Alltagskonzepte der Erde eine starke Fragmentierung postuliert, bei der verschiedene Wissensinseln unintegriert nebeneinander existieren (z.B. Nobes & Panagiotaki, 2009). Weiter wurde kritisiert, dass die mentalen Modelle der Kinder aus methodischen Gründen unterschätzt würden (Schoultz, Säljö & Wyndhamn, 2001; Siegal, Butterworth & Newcombe, 2004; Straatemeier, van der Maas & Jansen, 2008). Beispielsweise präsentierten Schoultz et al. (2001) Kindern einen Globus, und fanden heraus, dass selbst jüngere Kinder verstanden, dass Menschen rundherum an der Erdoberfläche leben können. Zudem waren Kinder scheinbar in der Lage aus verschiedenen Bildern das korrekte Modell auszuwählen (Straatemeier et al., 2008). Dem halten Vosniadou und Kollegen entgegen, dass das Wiedererkennen von wissenschaftlichen Modellen nicht mit dem selbsttätigen Herstellen von Modellen zu vergleichen sei und dass Letzteres besser dazu geeignet sei, die intuitive Sicht der Kinder wiederzugeben (Vosniadou, Skopeliti & Ikospentaki, 2004). Andere Arbeiten führten an, dass dem kulturellen Einfluss auf die Entwicklung mentaler Modelle der Erde zu wenig Rechnung getragen worden sei. Beispielsweise fanden Siegal et al. (2004), dass australische Kinder wesentlich früher als britische Kinder wissenschaftliche Modelle der Erde anwenden. Dies begründen sie mit dem Einfluss spezifischer kultureller Information über das Leben „down under“.

4. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Zusammenfassend lässt die Forschung zum Alltagswissen von Kleinkindern, Kindergartenkindern und Schulkindern folgende Schlüsse zu: Einerseits zeigte sich, dass Wissen über verschiedene Gesetzmäßigkeiten und Phänomene der natürlichen Umwelt schon wesentlich

früher vorhanden ist, als aufgrund von traditionellen konstruktivistischen Ansätzen (z.B. Piaget) lange Zeit für möglich erachtet wurde. Tatsächlich besitzen bereits Säuglinge Intuitionen über physikalische Phänomene und Dynamiken und antizipieren bis zu einem gewissen Grad das Verhalten von sich gemäß den Naturgesetzen verhaltenden, materiellen Objekten. Ebenso früh sind sie in der Lage, beispielsweise anhand dynamischer Bewegungsinformation, angetroffene Entitäten anhand der Dimension lebend/ nicht-lebend zu kategorisieren. Diese Intuitionen basieren möglicherweise auf angeborenen, im Rahmen der Evolution durch selektive Mechanismen erworbenen Kernkonzepten zu besonders wichtigen Phänomenbereichen der natürlichen Umwelt. Diese Kernkategorien definieren Erkenntniskategorien, die den Erwerb spezifischerer Wissensinhalte über Erfahrung erst ermöglichen. Diese frühen Kernwissensbestände bleiben über die gesamte Lebensspanne hinweg zentral und werden durch spätere Erfahrungen zusätzlich angereichert und spezifiziert. Das zeigt, dass die persönliche Auseinandersetzung des Kindes mit der materiellen Umwelt von größter Bedeutung ist, um die noch wenig spezifischen Grundkategorien und -prinzipien systematisch auszudifferenzieren.

Gleichzeitig zeigen Studien aus den unterschiedlichsten Bereichen, dass der Wissenserwerb entgegen der traditionellen Auffassung keine Entwicklung hin zu einem Zustand perfekten normativen Wissens bedeutet, sondern sich in einem langsamen, komplexen und äußerst facettenreichen Entwicklungsprozess vollzieht. Dies führt zu der oft angetroffenen starken Fragmentiertheit und Diskontinuität des frühen Wissens (vgl. diSessa, 1993; diSessa, Gillespie, & Esterly, 2004), welches nicht nur bereichsspezifisch, sondern innerhalb verschiedener Wissensdomänen auch abhängig vom jeweiligen Reaktionsmodus und Aufgabenkontext unterschiedlich angewendet wird. Im Gegensatz zur formalen wissenschaftlichen Bildung werden Elemente des Alltagswissens oft nicht generalisiert oder in ein widerspruchsfreies Konzept integriert. Vielmehr sind Alltagskonzepte oft stark von den

spezifischen Kontexten geprägt, innerhalb derer sie sich entwickelt haben. Insgesamt zeichnet die Forschung der letzten Jahrzehnte also ein sehr komplexes, vielschichtiges Bild der frühen Konzeptbildung und beschreibt diese als gleichermaßen von angeborenen und erworbenen sowie allgemeinen als auch individuellen Faktoren beeinflusst.

Mit der Geburt des Kindes beginnt der Prozess der Wissensentwicklung, bei dem in Auseinandersetzung mit der Umwelt zentrale Alltagskonzepte aufgebaut und verfeinert werden, ein Prozess der über die gesamte Lebensspanne hinweg gleichermaßen von relativer Stabilität in den Kernkonzepten, wie von dynamischen Veränderungen geprägt ist. In diesem Prozess ist das Kind von Geburt an aktiv, neugierig und kognitiv darauf vorbereitet, um sich mit der natürlichen Umwelt auseinanderzusetzen und sich darin zu entwickeln. Die Entwicklung des Kindes hängt immer auch stark davon ab, welche Erfahrungsmöglichkeiten die Umwelt bereit hält und aus welchem Angebot an vielfältigen Anregungen das Kind dabei schöpfen kann. Von zentraler Bedeutung sind dabei die Beziehungsangebote von erwachsenen Bezugspersonen, die das Kind auf dem von ihm gewählten Entwicklungsweg begleiten und ihm Anregungen vermitteln, ohne es zu überfordern.

Literaturverzeichnis

- Acredolo, C./Schmid, J. (1981): The understanding of relative speeds, distances, and durations of movement. In: *Developmental Psychology* 17, S. 490-493.
- Aguiar, A./Baillargeon, R. (1999): 2.5-Month-old infants' reasoning about when objects should and should not be occluded. In: *Cognitive Psychology* 39(2), S. 116-157.
- Aguiar, A./Baillargeon, R. (2002): Developments in young infants' reasoning about occluded objects. In: *Cognitive Psychology* 45, 2, S. 267-336.
- Albert, D./Kickmeier-Rust, M. D./Matsuda, F. (2008): A formal framework for modeling the developmental course of competence and performance in the distance, speed, and time domain. In: *Developmental Review* 28, S. 401-420.
- Andersson, B. (1990): Pupils' conceptions of matter and its transformation (age 12-16). In: *Studies in Science Education* 18, S. 53-88.
- Anderson, N. H./Wilkening, F. (1991): Adaptive thinking in intuitive physics. In: Anderson, N. H. (Hrsg.): *Contributions to information integration theory: Vol. 3. Developmental*. Hillsdale, NJ: Erlbaum, S. 1-42.
- Atran, S. (1999): Itzay Maya folkbiological taxonomy: Cognitive universals and cultural particulars. In D. L. Medin & S. Atran (Eds.) *Folkbiology*. Cambridge, MA: MIT Press, S. 119-213.
- Backscheider, A. G./Shatz, M./Gelman, S. A. (1993): Preschoolers' ability to distinguish living kinds as a function of regrowth. In: *Child Development* 64, S. 1242-1257.
- Baillargeon, R. (1987): Object permanence in 31/2- and 41/2-month-old infants. In: *Developmental Psychology* 23, 5, S. 655-664.

- Baillargeon, R. (1993): The object concept revisited: New directions in the investigations of infants' physical knowledge. In: Granrud, C. E. (Hrsg.): *Carnegie-Mellon Symposia on Cognition: Vol. 23. Visual Perception in Infancy*. Hillsdale, NJ: Erlbaum, S. 265-316.
- Baillargeon, R. (2004): Infants' Physical World. In: *Current Directions in Psychological Science* 13, 3, S. 89-94.
- Baillargeon, R./DeVos, J. (1991): Object permanence in young infants: Further evidence. In: *Child Development* 62, 6, S. 1227-1246.
- Baillargeon, R./Kotovsky, L./Needham, A. (1995): The acquisition of physical knowledge in infancy. In: *Causal Cognition*, S. 79-116.
- Baillargeon, R./Li, J./Ng, W./Yuan, S. (2009): An account of infants' physical reasoning. In: Woodward, A./Needham, A. (Hrsg.): *Learning and the infant mind*. New York, NY: Oxford University Press, S. 66-116.
- Baillargeon, R./Spelke, E. S./Wasserman, S. (1985): Object permanence in five-month-old infants. In: *Cognition* 20, 3, S. 191-208.
- Buckingham, D./Shultz, T. R. (2000): The developmental course of distance, time, and velocity concepts: A generative connectionist model. In: *Journal of Cognition and Development* 1, S. 305-345.
- Bulloch, M. J./Opfer, J. E. (2009): What makes relational reasoning smart? Revisiting the perceptual-to-relational shift in the development of generalization. In: *Developmental Science* 12, S. 114-122.
- Cacchione, T./Burkart, J. (2012): Dissociation between seeing and acting: Insights from common marmosets (*Callithrix jacchus*). In: *Behavioural Processes*, 89, 52- 60.

- Cacchione, T./Call, J. (2010a): Do gorillas (*Gorilla gorilla*) and orangutans (*Pongo pygmaeus*) fail to represent objects in the context of cohesion violations? In: *Cognition* 116, S. 193-203.
- Cacchione, T./Call, J. (2010b): Intuitions about gravity and solidity in great apes: The tubes task. In: *Developmental Science* 13, S. 320-330.
- Cacchione, T./ Call, J./Zingg, R. (2009): Gravity and solidity in four great ape species (*Gorilla gorilla*, *Pongo pygmaeus*, *Pan troglodytes*, *Pan paniscus*): Vertical and horizontal variations of the table task. In: *Journal of Comparative Psychology* 123, 2, S. 168-180.
- Caramazza, A./ Shelton, J. R. (1998): Domain-specific knowledge systems in the brain: The animate–inanimate distinction. In: *Journal of Cognitive Neuroscience* 10, S. 1–34.
- Carey, S. (1985): *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Carey, S. (1991): Knowledge acquisition: Enrichment or conceptual change? In: Carey, S./Gelman, R. (Hrsg.): *The epigenesis of mind: Essays on biology and cognition*. Hillsdale, NJ: Erlbaum, S. 257-291.
- Carey, S. (1995): On the origin of causal understanding. In: Sperber, D./Premack, D./Premack A. J. (Hrsg.): *Causal cognition*. Oxford: OUP, S. 268-301.
- Carey, S./Spelke, E. (1996): Science and core knowledge. In: *Journal of Philosophy of Science* 63, S. 515-533.
- Cohen, L. B./Amsel, G. (1998): Precursors to infants' perception of the causality of a simple event. In: *Infant Behavior & Development* 21, 4, S. 713-731.
- Cohen, L. B./Rundell, L. J./Spellman, B. A./Cashon, C. H. (1999): Infants' perception of causal chains. In: *Psychological Science* 10, 5, S. 412-418.

- Coley, J. (1995): Emerging differentiation of folkbiology and folkpsychology: Attributions of biological and psychological properties to living things. In: *Child Development* 66, S. 1856–1874.
- Crépault J. (1979): Influence du repérage sur la durée: Etude génétique des inférences cinématiques. In: *L'Anée Psychologique* 79, S. 43-64.
- Daum, M. M., & Krist, H. (2009): Dynamic action in virtual environments: Constraints on the accessibility of action knowledge in children and adults. In: *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62(2), 335-351.
- DeVries, R. (1987): Childrens conception of shadow phenomena. In: *Genetic Psychology Monographs*, 122, 479-530.
- Diakidoy, I. A./Vosniadou, S./Hawks, J. (1997): Conceptual change in astronomy: Models of the earth and of the day/night cycle in American-Indian children. In: *European Journal of Psychology of Education* 12, S. 159–184.
- Diesendruck, G. (2003): Categories for names or names for categories? The interplay between domain-specific conceptual structure and language. In: *Language and Cognitive Processes* 18, S. 759–787.
- diSessa, A. A. (1993): Toward an epistemology of physics. In: *Cognition and Instruction* 10, S. 105-225.
- diSessa, A. A./Gillespie, N. M./Esterly, J. B. (2004): Coherence versus fragmentation in the development of the concept of force. In: *Cognitive Science* 28, S. 834-900.
- Dolgin, K./Behrend, D. A. (1984): Children's knowledge about animates and inanimates. In: *Child Development* 55, S. 1546–1650.

- Driver, R. (1985): Beyond appearance: The conservation of matter. In Driver, R./Guesne, E./Tiberghien, A. (Hrsg.): *Children's ideas in science*. Milton Keynes: Open University Press, S. 145-169.
- Durand, K./Lecuyer, R. (2002): Object permanence observed in 4-month-old infants with a 2D display. In: *Infant Behavior & Development* 25, 3, S. 269-278.
- Friedman, W. (1990): *About time: Inventing the fourth dimension*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Galili, I./Bar, V. (1997): Children's operational knowledge about weight. In: *International Journal of Science Education* 19, S. 317-340.
- Goren, C. C./Sarty, M./Wu, P. Y. K. (1975): Visual following and pattern discrimination of face-like stimuli by newborn infants. In: *Pediatrics* 56, S. 544-549.
- Halford, G. S./Brown, C. A./McThompson, R. M. (1986): Children's concepts of volume and flotation. In: *Developmental Psychology* 22, S. 218-222.
- Hardy, I./Jonen, A./Möller, K./Stern, E. (2006): Effects of instructional support within constructivist learning environments for elementary school students' understanding of "floating and sinking". In: *Journal of Educational Psychology* 98, S. 307-326.
- Hatano, G./Siegler, R. S./Richards, D. D./Inagaki, K./Stavy, R./Wax, N. (1993): The development of biological knowledge: A multi-national study. In: *Cognitive Development* 8, S. 47-62.
- Hespos, S. J./Baillargeon, R. (2001): Reasoning about containment events in very young infants. In: *Cognition* 78, 3, S. 207-245.
- Hewson, M. G. (1986): The acquisition of scientific knowledge: Analysis and representation of student conceptions concerning density. In: *Science Education* 70, S. 159-170.
- Hood, B. M. (1995): Gravity rules for 2- to 4-years-olds? In: *Cognitive Development* 10, S. 577-598.

- Hood, B. M. (1998): Gravity does rule for falling events. In: *Developmental Science* 1, S. 59-64.
- Hood, B. M./Santos, L./Fieselman, S. (2000): Two year-old's naïve predictions for horizontal trajectories. In: *Developmental Science* 3, S. 328-332.
- Hood, B. M./Wilson, A./Dyson, S. (2006): The effect of divided attention on inhibiting the gravity error. In: *Developmental Science* 9, S. 303-308.
- Huber, S./Krist, H. (2004): When is the ball going to hit the ground? Duration estimates, eye movements, and mental imagery of object motion. In: *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 30, S. 431-444.
- Inagaki, K./Hatano, G. (1993): Young children's understanding of the mind-body distinction. In: *Child Development* 64, S. 1534-1549.
- Inagaki, K./Hatano, G. (1996): Young children's recognition of commonalities between animals and plants. In: *Child Development* 67, S. 2823-2840.
- Janke, B. (1995): Entwicklung naiven Wissens über den physikalischen Auftrieb: Warum schwimmen Schiffe? In: *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie* 27, S. 122-138.
- Johnson, K. E./Mervis, C. B./Boster, J. S. (1992): Developmental changes within the structure of the mammal domain. In: *Developmental Psychology* 28, S. 74-83.
- Kaiser, M. K./Proffitt, D. R./McCloskey, M. (1985): The development of beliefs about falling objects. In: *Perception and Psychophysics* 38, S. 533-539.
- Kim, I.-K./Spelke, E. S. (1992): Infants' sensitivity to effects of gravity on visible object motion. In: *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 18, 2, S. 385-393.
- Kim, I.-K./Spelke, E. S. (1999): Perception and understanding of effects of gravity and inertia on object motion. In: *Developmental Science* 2, 3, S. 339 - 362.

- Kloos, H. (2007): Interlinking physical beliefs: Children's bias towards logical congruence. In: *Cognition* 103, S. 227-252.
- Kloos, H./Somerville, S. C. (2001): Providing impetus for conceptual change: The effect of organizing the input. In: *Cognitive Development* 16, S. 737-759.
- Kloos, H./Van Orden, G.C. (2005): Can a preschooler's mistaken belief benefit learning? In: *Swiss Journal of Psychology* 64, S. 195-205.
- Krist, H. (2001): Development of naive beliefs about moving objects: The straight-down belief in action. In: *Cognitive Development* 15, S. 397-424.
- Krist, H. (2003): Knowing How to Project Objects: Probing the Generality of Children's Action Knowledge. In: *Journal of Cognition and Development* 4, 4, S. 383-414.
- Krist, H./Fieberg, E. L./Wilkening, F. (1993): Intuitive physics in action and judgment: The development of knowledge about projectile motion. In: *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 19, S. 952-966.
- Krist, H./Loskill, J./Schwarz, S. (1996): Intuitive physics in action: Perceptual-motor knowledge about projectile motion in 5-7-year-old children. In: *Zeitschrift für Psychologie* 204, S. 339-366.
- Leslie, A. M. (1984): Spatiotemporal Continuity and the Perception of Causality in Infants. In: *Perception* 13, 3, S. 287-305.
- Leslie, A. M. (1994): ToMM, ToBy, and Agency: Core architecture and domain specificity. In: Hirschfeld, L. A./Gelman, S. A. (Hrsg.): *Mapping the mind: Domain specificity in cognition and culture*. New York, NY: Cambridge University Press, S. 119-148.
- Leslie, A. M./Keeble, S. (1987): Do 6-Month-Old Infants Perceive Causality. In: *Cognition* 25, 3, S. 265-288.

- Levin, I. (1977): The development of time concepts in young children: Reasoning about duration. In: *Child Development* 48, S. 435-444.
- Levin, I. (1982): The nature and development of time concepts in children: The effect of interfering cues. In Friedman, W. J. (Hrsg.): *The developmental psychology of time*. New York: Academic Press, S. 47-85.
- Liu, X./Lesniak, K. (2006): Progression in children's understanding of the matter concept from elementary to high school. In: *Journal of Research in Science Teaching* 43, S. 320-347.
- Massey, C./Gelman, R. (1988): Preschoolers decide whether pictured unfamiliar objects can move themselves. In: *Developmental Psychology* 24, S. 307-317.
- Matsuda, F. (1994): Concepts about interrelations among duration, distance, and speed in young children. In: *International Journal of Behavioral Development* 17, 3, S. 553-576.
- Matsuda, F. (2001): Development of concepts of interrelationships among duration, distance, and speed. In: *International Journal of Behavioral Development* 25, 5, S. 466-480.
- McCloskey D. I. (1983): Intuitive Physics. In: *Scientific American*, 248 (4), 122-130.
- Michotte, A. E. (1963): *The Perception of Causality*. Translated into English by Miles T. R./Miles E. (1963, London: Methuen) original work published in French in 1946.
- Möhring, W./Cacchione, T./ Bertin, E. (im Druck): How far moved the train? On the origin of the understanding of time, speed, and distance interrelations.
- Montangero, J. (1979): Les relations du temps, de la vitesse et de l'espace parcouru chez le jeune enfant. In: *L'Année Psychologique* 79, S. 23-42.
- Morris, S. C./Taplin, J. E./Gelman, S. A. (2000): Vitalism in naïve biological thinking. In: *Developmental Psychology* 36, S. 582-595.
- Morton, J./Johnson, M. H. (1991): CONSPEC and CONLERN: A two-process theory of infant face recognition. In: *Psychological Review* 98, S. 164-181.

- Needham, A. (1999): The role of shape in 4-month-old infants' object segregation. In: *Infant Behavior & Development* 22, 2, S. 161-178.
- Nobes, G./Panagiotaki, G. (2009): Mental models or methodological artefacts? Adults' 'naive' responses to a test of children's conceptions of the earth. In: *British Journal of Psychology* 100, S. 347–363.
- Oakes, L. M. (1994): Development of Infants Use of Continuity Cues in Their Perception of Causality. In: *Developmental Psychology* 30, 6, S. 869-879.
- Oakes, L. M./Cohen, L. B. (1990): Infant Perception of a Causal Event. In: *Cognitive Development* 5, 2, S. 193-207.
- Opfer, J. E./Gelman, S. A. (2010): Development of the animate-inanimate distinction. In U. Goswami (Ed.), *Wiley-Blackwell Handbook of Childhood Cognitive Development*, S. 213 – 238.
- Opfer, J. E./Siegler, R. S. (2004): Revisiting preschooler's living things concept: A microgenetic analysis of conceptual change in basic biology. In: *Cognitive Psychology* 49, S. 30–332.
- Penner, D. E./Klahr, D. (1996): The interaction of domain-specific knowledge and domain-general discovery strategies: A study with sinking objects. In: *Child Development* 67, S. 2709-2727.
- Piaget, J. (1929): *The child's conception of the world*. London: Routledge & Kegan.
- Piaget, J. (1946a): *Le développement de la notion de temps chez l'enfant*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Piaget, J. (1946b): *Les notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Piaget, J. (1954): *The construction of reality in the child*. New York: Basic Books.

- Piaget, J. (1960): *The child's conception of physical causality*. Paterson, NJ: Littlefield, Adams, and Co.
- Piaget, J. (1973): *Einführung in die genetische Erkenntnistheorie*. Frankfurt: Suhrkamp.
- Piaget, J. (1974): *Understanding causality*. New York: Norton.
- Piaget, J./Inhelder, B. (1974): *The child's construction of quantities*. London: Routledge & Keagan Paul.
- Rakison, D.H. (2010): *Perceptual categorization and concepts*. In: Goswami U. (Hrsg.): *Blackwell Handbook of childhood cognitive development*, 2nd edition. Oxford: Blackwell, S. 243-270.
- Rakison, D. H./Poulin-Dubois, D. (2001): *The developmental origin of the animate-inanimate distinction*. In: *Psychological Bulletin* 127, S. 209–228.
- Reusser, K. (2006): *Piagets Theorie der Entwicklung des Erkennens*. In: Schneider, W./Wilkening, F. (Hrsg.): *Theorien, Modelle und Methoden der Entwicklungspsychologie (Enzyklopädie der Psychologie, Serie V: Entwicklung, Bd. 1)*. Göttingen: Hogrefe, S. 91-189.
- Richards, D. D. (1982): *Children's time concepts: Going the distance*. In Friedman, W. J. (Hrsg.): *The developmental psychology of time*. New York: Academic Press, S. 13-45.
- Richards, D. D./Siegler, R. S. (1984): *The effects of task requirements on children's life judgments*. In: *Child Development* 55, S. 1687–1696.
- Rosengren, K. S./Gelman, S. A./Kalish, C. W./McCormick, M. (1991): *As time goes by: Children's early understanding of growth in animals*. In: *Child Development* 62, S. 1302–1320.
- Samarapungavan, A./Vosniadou, S./Brewer, W. F. (1996): *Mental models of the earth, sun, and moon: Indian children's cosmologies*. In: *Cognitive Development* 11, S. 491–521.

- Santos, L. R. (2004): 'Core Knowledges': A dissociation between spatiotemporal knowledge and contact-mechanics in a non-human primate? In: *Developmental Science* 7, 2, S. 167-174.
- Saxe, R./Carey, S. (2006): The perception of causality in infancy. In: *Acta Psychologica* 123, 1-2, S. 144-165.
- Scholl, B. J. (2007): Object persistence in philosophy and psychology. In: *Mind & Language* 22, 5, S. 563 - 591.
- Schoultz, J./Säljö, R./Wyndhamn, J. (2001): Heavenly talk: Discourse, artifacts, and children's understanding of elementary astronomy. In: *Human Development* 44, S. 103–118.
- Siegal, M./Butterworth, G./Newcombe, P. (2004): Culture and children's cosmology. In: *Developmental Science* 7, 3, S. 308–324.
- Siegler, R. S./Richards, D. D. (1979): Development of time, speed, and distance concepts. In: *Developmental Psychology* 15, S. 288-298.
- Smith, C./Carey, S./Wiser, M. (1985): On differentiation: A case study of the development of the concepts of size, weight, and density, In: *Cognition* 21, S. 177-237.
- Smith, C./Snir, J./Grosslight, L. (1992): Using Conceptual Models to facilitate conceptual change: The case of weight-density differentiation . In: *Cognition and Instruction* 9, S. 221-283.
- Solomon, G. E. A./Cassimatis, N. L. (1999): On facts and conceptual systems: Young children's integration of their understanding of germs and contagion. In: *Developmental Psychology* 35, S. 113–126.
- Spelke, E. S. (1994): Initial knowledge: Six suggestions. In: *Cognition* 50, 1-3, S. 431-445.
- Spelke, E. S. (1998): Nativism, empiricism, and the origins of knowledge. In: *Infant Behavior & Development* 21, 2, S. 181-200.

Spelke, E. S./Breinlinger, K./Macomber, J./Jacobson, K. (1992): Origins of knowledge. In:
Psychological Review 99, 4, S. 605-632.

Spelke, E. S./Kinzler, K. D. (2007): Core knowledge. In: Developmental Science 10, 1, S. 89-96.

Spelke, E. S./Van de Walle, G. A. (1993): Perceiving and reasoning about objects: Insights from
infants. In: Eilan, N./McCarthy, R. A./Brewer, B. (Hrsg.): Spatial representation:
Problems in philosophy and psychology. Malden: Blackwell Publishing Print, S. 132-161.

Spelke, E. S./von Hofsten, C./Kestenbaum, R. (1989): Object perception in infancy: Interaction
of spatial and kinetic information for object boundaries. In: Developmental Psychology
25, 2, S. 185-196.

Stavridou, H./Demetriadis, S./Grammenos, S. (2004): Introducing "The density notebook" in the
classroom: Learning processes and outcomes. In: World Conference on Educational
Multimedia, Hypermedia & Telecommunications 1-7, S. 1639-1646.

Straatemeier, M./van der Maas, H. L. J./Jansen, B. R. J. (2008): Children's knowledge of the
earth: A new methodological and statistical approach. In: Experimental Child Psychology
100, 4, S. 276-296.

Unal, S. (2008): Changing students' misconceptions of floating and sinking using hands-on
activities. In: Journal of Baltic Science Education 7, S. 134-146.

Vicente, T. (2009): On Cognitive Constraints and Learning Progressions: The case of "structure
of matter". In: International Journal of Science Education 31, S. 2123-2136.

Vosniadou, S./Brewer, W. F. (1992): Mental models of the earth: A study of conceptual change
in childhood. In: Cognitive Psychology 24, S. 535-585.

Vosniadou, S./Brewer, W. F. (1994): Mental models of the day/night cycle. In: Cognitive Science
18, S. 123-183.

- Vosniadou, S./Skopeliti, I./Ikospentaki, K. (2004): Modes of knowing and ways of reasoning in elementary astronomy. In: *Cognitive Development* 19, S. 203–222.
- Wang, S./Baillargeon, R./Paterson, S. (2005): Detecting continuity violations in infancy: A new account and new evidence from covering and tube events. In: *Cognition* 95, 2, S. 129-173.
- Weinreb, N./Brainerd, C. J. (1975): A developmental study of Piaget's groupment model of the emergence of speed and time concepts. In: *Child Development* 46, S. 176-185.
- Wellman, H. M./Gelman, S. A. (1998): Knowledge acquisition in foundational domains. In: Damon, W. (Hrsg.): *Handbook of child psychology: Volume 2: Cognition, perception, and language*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons Inc, S. 523-573.
- Wilcox, T./Nadel, L./Rosser, R. (1996): Location memory in healthy preterm and full-term infants. In: *Infant Behavior & Development* 19, 3, S. 309-323.
- Wilkening, F. (1981): Integrating velocity, time, and distance information: A developmental study. In: *Cognitive Psychology* 13, S. 231-247.
- Wilkening, F. (1982): Children's knowledge about time, distance, and velocity interrelations. In: Friedman, W. J. (Hrsg.): *The developmental psychology of time*. New York: Academic Press, S. 87-112.
- Xu, F./Carey, S./Welch, J. (1999): Infants' ability to use object kind information for object individuation. In: *Cognition* 70, 2, S. 137-166.