

**Bereichsübergreifendes wissenschaftliches Denken**  
**in der frühen und mittleren Kindheit**  
**Entwicklungsschritte und Einflussfaktoren**

Vom Fachbereich I Erziehungs- und Sozialwissenschaften der Universität Hildesheim  
zur Erlangung des Grades einer Doktorin der Philosophie (Dr. phil.) angenommene  
Dissertation von

**Dipl. Psych. Jeanette Piekny**

geboren am 24.07.1981 in Sonderburg (DK)

Gutachter/in: Prof. Dr. Claudia Mähler, Universität Hildesheim  
Prof. Dr. Werner Greve, Universität Hildesheim

Für die kleine deutsche

*og den store danske familie.*

## Inhalt

Zusammenfassung .....	4
I. Forschungshintergrund zur Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens .....	6
1. Einleitung.....	6
2. Theorien der kognitiven Entwicklung .....	8
2.1 Die Theorie von Jean Piaget.....	9
2.1.1 Übergeordnete theoretische Annahmen .....	9
2.1.2 Die Stufentheorie .....	12
2.1.3 Das „Kind als Wissenschaftler“.....	18
2.1.4 Neopiagetianische Theorien der Informationsverarbeitung .....	23
2.2 Die Theorien des Kernwissens.....	24
2.3 Soziokulturelle Theorien .....	28
3. Bereichsspezifisches und bereichsübergreifendes wissenschaftliches Denken .....	31
4. Das Scientific Discovery as Dual Search – Modell.....	37
4.1 Forschungsstand zur Fähigkeit zur Hypothesengenerierung .....	41
4.2 Forschungsstand zur Fähigkeit zum Experimentieren .....	44
4.3 Forschungsstand zur Fähigkeit zur Evidenzbewertung.....	47
5. Fragestellungen zur Entwicklung des bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denkens ....	49
II. Studie 1: Scientific reasoning in early and middle childhood .....	54
III. Studie 2: The development of experimentation and evidence evaluation skills at preschool age....	55
IV. Diskussion zu Studie I und II .....	56
V. Das Metawissensmodell und die Entwicklung epistemologischen Wissens nach Deanna Kuhn .....	64
VI. Studie 3: The relation between preschool children’s false-belief understanding and experimentation skills .....	70
VII. Resume.....	71
1. Zum wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn dieser Arbeit .....	71
1.1 Verbindung des SDDS-Modells mit dem Modell der epistemologischen Entwicklung .....	71
1.2 Einordnung der Ergebnisse in die Theorien der kognitiven Entwicklung.....	78
2. Kritische Auseinandersetzung.....	90
2.1 Kritische Reflexion der theoretischen Annahmen .....	90
2.2 Kritische Reflexion der Methoden.....	97
VIII. Ausblick.....	106
1. Vorschläge für weiterführende Forschungsarbeiten.....	106
2. Vorschläge für zukünftige Anwendungsbereiche .....	112
IX. Literatur .....	119
Anhang .....	130
Anhang A .....	130
Anhang B .....	137
Danksagungen.....	145

## Zusammenfassung

---

Das Ziel des Forschungsprozesses, dem die vorliegende Arbeit zugrunde liegt, bestand darin, vor dem Hintergrund einer zunehmenden Fokussierung von Kindertageseinrichtungen auf naturwissenschaftliche Bildungsprogramme zu einer differenzierten entwicklungspsychologischen Betrachtung des wissenschaftlichen Denkens in der frühen und mittleren Kindheit beizutragen. Hierbei wurde das bereichsübergreifende wissenschaftliche Denken, d.h. die Fähigkeit zur Anwendung und das Verständnis für die kindlichen Methoden der Erkenntnisgewinns fokussiert.

Zu Beginn der Arbeit wird der theoretische Hintergrund der entwicklungspsychologischen Forschung zum wissenschaftlichen Denken von den Anfängen durch Piaget bis zum Scientific Discovery as Dual Search (SDDS)-Modell dargestellt. Aus den bisherigen Befunden ergaben sich noch offene Forschungsfragen zur Entwicklung der drei Komponenten der Hypothesengenerierung, des Experimentierens und der Evidenzbewertung des SDDS-Modells, die im Rahmen zweier empirischer Studien überprüft worden sind. Die Ergebnisse der beiden Studien zeigten, dass sich die drei Komponenten im Laufe der frühen und mittleren Kindheit asynchron entwickeln. Die Fähigkeit zur Bewertung eindeutiger Evidenzen ist bereits im frühen Kindergartenalter möglich, während die Bewertung uneindeutiger Evidenzen und das basale Experimentierverständnis frühestens am Ende des Kindergartenalters nachweisbar waren. Das flexible Generieren und Adaptieren von Hypothesen an vorgegebene Evidenzen ist erst mit Beginn der Adoleszenz möglich.

Die weitere theoretische Analyse dieser Ergebnisse führte zu der Hypothese, dass sich die Komponenten des wissenschaftlichen Denkens aufgrund unterschiedlicher metakognitiver Anforderungen asynchron entwickeln. Diese Hypothese floss in die theoretische Erarbeitung der dritten Studie dieser Arbeit ein, die sich mit dem Versuch einer Erklärung für die Entstehung interindividueller Unterschiede im Experimentierverständnis befasste. Auf der Basis der Modelle von Deanna Kuhn (1999, 2000) wurde das Verständnis falschen Glaubens als mögliche Vorläuferkompetenz des Experimentierverständnisses herausgearbeitet empirisch überprüft. Die Ergebnisse zeigten einen signifikanten prädiktiven Zusammenhang zwischen dem Verständnis falschen Glaubens im Alter von vier Jahren und dem basalen Experimentierverständnis im Alter von fünf Jahren.

Auf der Grundlage der Ergebnisse aller drei Studien, des SDDS-Modells und der Modelle von Kuhn (1999, 2000) wurde ein verknüpftes Modell zur Entwicklung des bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denkens formuliert. Anschließend folgt eine

Diskussion des verknüpften Modells vor dem Hintergrund ausgewählter Theorien der kognitiven Entwicklung, sowie der Erörterung theoretischer und methodischer Kritikpunkte. Die Arbeit schließt mit Vorschlägen zu weiterführenden Forschungsarbeiten und Anwendungsmöglichkeiten ab.

## I. Forschungshintergrund zur Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens

---

„Here was a first principle not formally recognized by scientific methodologists: When you run onto something interesting, drop everything else and study it.“

(B. F. Skinner, 1956, S. 223)

### 1. Einleitung

---

„In einer Kita hatte die Erzieherin sich vorgenommen, Kindern die Phänomene von Schwimmen und Sinken verständlich zu machen. Sie hatte dazu mehrere Gegenstände auf die Oberfläche des Wassers eines Aquariums gelegt. Die Kinder unterschieden korrekt zwischen den Schwimmern, die oben bleiben, und Nichtschwimmern, die sinken. Als die Erzieherin aber eine Fischfigur aus Kunststoff auf das Wasser legte und fragte, ob der Fisch schwimmt oder sinkt, meinte ein Kind: „Der Fisch schwimmt nicht.“ Weitere Kinder schlossen sich dem an. Diese unerwartete Bemerkung der Kinder brachte die Erzieherin völlig aus dem Konzept. Auch als sie insistierte, dass der Fisch doch oben auf dem Wasser schwimmen würde, genauso wie andere schwimmende Gegenstände, blieben die Kinder bei ihrer Auffassung. Ich fragte die Kinder, weshalb sie meinten, dass der Fisch nicht schwimme. „Weil er nicht unter Wasser ist und sich nicht bewegt“, hieß die Antwort – die völlig richtig ist. Denn keine Fischart schwimmt auf der Wasseroberfläche. Was bedeutet dieses Experiment? Kinder sind keine Physiker, und sie denken nicht in Schulfächern.“ (Ansari, 2012)

Die Neugierde und Lernbereitschaft von Kindern im Kindergartenalter ist fast grenzenlos. Eltern, Erzieherinnen und Erzieher sowie alle weiteren Personen, die ihren Alltag mit einem Kindergartenkind teilen, kennen die immer wiederkehrenden „Warum“-Fragen, deren Beantwortung die Kinder nie zufriedenzustellen scheint. Kindergartenkinder hinterfragen soziale, kulturelle, naturwissenschaftliche und technische Phänomene mit Ausdauer und setzen sich täglich mit für sie neuen Phänomenen auseinander.

Für ihre „Forschungsarbeit“ scheinen sie nicht in erster Linie aufwändiges Material zu benötigen, sondern Erwachsene und andere Kinder, die ihnen Erklärungen bieten oder mit ihnen gemeinsam nach Erklärungen suchen, wenn sie selbst keine parat haben. Im Alltag ist zu beobachten, dass Kindergartenkinder von ihrer eigenen „Forschungsarbeit“ am meisten zu profitieren scheinen, wenn ihnen ein Gegenüber hilft, das ihren aktuellen Kenntnisstand berücksichtigt und sie nicht mit Erklärungen und Begriffen überfrachtet, deren Bedeutung sie noch nicht erfassen können. Zugleich unterliegen diese „Gegenüber“ in der heutigen Leistungsgesellschaft dem Druck, Kinder schon frühzeitig maximal zu fördern. Die nächste

PISA-Generation soll insbesondere in den MINT-Fächern besser abschneiden als ihre Vorgänger. Was liegt da näher, als Kinder durch systematische naturwissenschaftliche Frühförderung optimal auf die Schule vorbereiten zu wollen? Möglicherweise ist die Intervention der Erzieherin, die Ansari (2012) im Eingangsbeispiel beschreibt, auf diese zunehmende Fokussierung von Kindertageseinrichtungen auf naturwissenschaftliche Bildung zurückzuführen. Mit gut gemeinter Absicht versucht die Erzieherin, den Kindern grundlegende Kenntnisse der Physik zu vermitteln. Sie nutzt dazu anschauliches Material, führt mehrere Experimente mit den Kindern gemeinsam durch und hat zunächst Erfolg mit ihren pädagogischen Bemühungen. Dennoch stößt sie schließlich an deutlich erkennbare Grenzen – kein Kind nimmt ihr ab, dass ein Plastikfisch *auf* dem Wasser schwimmt. Die Kinder trauen dem neu erworbenen Wissen zu Schwimmern und Nichtschwimmern nicht, sondern verlassen sich auf ihr bisheriges Vorwissen zu Fischen, das ihnen im Laufe ihres Lebens gezeigt hat, dass Fische *im* Wasser schwimmen und nicht *auf* der Wasseroberfläche. Das biologische Vorwissen der Kinder zu Fischen verhinderte hier den Erwerb eines neuen abstrakten physikalischen Inhalts – und dies vollkommen zu Recht. Warum sollten die Kinder einem physikalischen Experiment eher trauen als den unmittelbaren direkten Erfahrungen mit Fischen, die sie zuvor gemacht haben? Ebenso wenig würde auch ein Wissenschaftler eine bisher bewährte Hypothese aufgrund *einer* falsifizierenden Evidenz verwerfen.

Das Eingangsbeispiel verdeutlicht, dass naturwissenschaftliche Förderung im Kindergartenalter einer differenzierten Betrachtung und Berücksichtigung der kognitiven Möglichkeiten und Grenzen der Kinder, aber auch einer kritischen und bewussten Auswahl von Lernmaterialien bedarf, um erfolgreich sein zu können. Vor dem Hintergrund der Neugierde und des Wissensdurstes von Kindergartenkindern für naturwissenschaftliche Phänomene kann eine solche Förderung nur dann gelingen, wenn der Wissensdurst erhalten und bestenfalls sogar gesteigert werden kann. Hierzu sind differenzierte entwicklungspsychologische Kenntnisse darüber vonnöten, wie genau sich das wissenschaftliche Denken von Kindergartenkindern entwickelt, wie diese Entwicklung über die Kindergartenzeit hinaus verläuft und welche Faktoren einen Einfluss auf die Entwicklung haben könnten.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird versucht, diese entwicklungspsychologischen Fragen zu bearbeiten. Der theoretische Hintergrund (Kapitel I) stellt in zusammengefasster Form den Forschungshintergrund und den empirischen Forschungsverlauf zur Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens von den Anfängen der systematischen Forschung durch Piaget bis zum heutigen Forschungsstand dar. Aus der Betrachtung dieses Verlaufs und der bisherigen Befunde ergeben sich offene Forschungsfragen. Diesen widmen sich Studie 1

und 2 (Kapitel II und III). In Kapitel IV wird ein Zwischenfazit zu diesen beiden Studien gezogen. Kapitel I bis IV bilden damit eine übergeordnete thematische Einheit und verfolgen Fragestellungen zur *Beschreibung* von Entwicklungsveränderungen des wissenschaftlichen Denkens. Kapitel V bis VIII befassen sich mit einer darauf aufbauenden Fragestellung, dem Versuch einer *Erklärung* für die Entstehung interindividueller Unterschiede im Experimentierverständnis. Hierzu wird zunächst ein theoretisches Modell dargestellt (Kapitel V), das durch Studie 3 (Kapitel VI) einer empirischen Prüfung unterzogen und im Rahmen von Kapitel VII erweitert wird. Kapitel VII beinhaltet darüber hinaus eine kritische Diskussion des gesamten Forschungsvorgehens sowie eine Einordnung der Ergebnisse in Bezug auf die im Rahmen von Kapitel I dargestellten theoretischen Ansätze der kognitiven Entwicklungspsychologie. Vorschläge für künftige Studien und für die praktische Anwendbarkeit der Ergebnisse werden in Kapitel VIII vorgenommen.

Die Studien (Kapitel II, III und VI) wurden bzw. werden in den englischsprachigen Zeitschriften *British Journal of Developmental Psychology*, *International Journal of Science Education* und *Metacognition and Learning* veröffentlicht und sind im Wortlaut aufgeführt. Da auch den Leserinnen und Lesern der Studien der theoretische Hintergrund in Kurzform dargelegt werden musste, entstanden im Rahmen dieser Arbeit inhaltliche Redundanzen in den publizierten Teilen. Die Leserinnen und Leser dieser Arbeit werden gebeten, die inhaltlichen Redundanzen sowie die Veränderungen der Sprache (Deutsch und Englisch) zu entschuldigen.

## 2. Theorien der kognitiven Entwicklung

---

Die systematische Forschung zur Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens im Kindesalter begann mit den Arbeiten Jean Piagets. Im Rahmen seiner Stufentheorie der kognitiven Entwicklung verglich er Tätigkeiten von Kindern, die dem Erkenntnisgewinn dienen, mit den Vorgehensweisen von Wissenschaftlern (Piaget, 1981). Piagets Arbeiten gaben den Anstoß für weitere theoretische Ansätze zur kognitiven Entwicklung und zu der Frage, ob Kinder ähnlich wie Wissenschaftler ihre Umwelt entdecken und erklären. Die Auseinandersetzung mit dem Themengebiet dieser Arbeit beginnt folglich mit der Darstellung ausgewählter Aspekte der Theorie Piagets (Kapitel 1.2.1). Anschließend wird in etwas kürzerer Form auf weitere Erklärungsansätze zur kognitiven Entwicklung im Kindesalter eingegangen, die durch die kritische Auseinandersetzung mit Piagets Theorie entstanden sind (Kapitel 1.2.2-1.2.3). Schließlich wird auf die aktuelle Unterscheidung des Forschungsgegenstandes in bereichsübergreifendes und bereichsspezifisches wissenschaftliches Denken eingegangen, die im zuvor dargestellten Forschungsverlauf

entstanden ist (Kapitel I.3). Kapitel I.4 befasst sich schließlich mit einem derzeit häufig diskutierten Modell zur Beschreibung wissenschaftlicher Denkprozesse (das *Scientific Discovery as Dual Search-Modell*; Klahr & Dunbar, 1988), auf dem Studie I und II (Kapitel II und III) der vorliegenden Arbeit basieren, und beinhaltet die Ableitung der Fragestellungen, die im Rahmen der Studien bearbeitet wurden.

## 2.1 Die Theorie von Jean Piaget

---

### 2.1.1 Übergeordnete theoretische Annahmen

---

Jean Piagets Hauptinteresse galt der Erkenntnistheorie. Er nahm an, dass Erkenntnisleistungen durch das Verständnis ihrer ontogenetischen Entstehung erklärt werden können (Piaget & Inhelder, 1972). Folglich untersuchte er die kognitive Entwicklung im Laufe der Kindheit und begründete in Anlehnung an die Theorie Baldwins (1894) eine wissenschaftliche Disziplin, die *genetische Epistemologie* genannt wurde (Piaget, 1974).

Eine der zentralen Annahmen in Piagets Theorie ist die These, dass die Passung zwischen den Lebewesen und ihrer Umwelt von unmittelbarer Bedeutung für die kognitive und sonstige Entwicklung ist (Piaget, 1947). Piaget ging davon aus, dass Lebewesen sich durch Lernen und Selektion an die Umwelt anpassen, aber gleichzeitig ihre Umwelt durch aktive Gestaltung an ihre eigenen Bedürfnisse verändern (Piaget, 1973, 1975, 1981).

Piaget beschrieb am sich entwickelnden Individuum drei unterschiedliche Anteile, die Funktionen, die Strukturen und die Inhalte (Piaget, 1973, 1981). Aus der Grundannahme, dass Lebewesen sich der Umwelt anpassen, gleichzeitig aber ihre Umwelt in ihrem Sinne gestalten, leitete Piaget die *Funktionen* oder *Invarianten* der Entwicklung ab (Piaget, 1981). Die Anpassung an die Umwelt wird hergestellt durch die komplementären Prozesse der Assimilation und der Akkomodation (Piaget, 1947). Die Assimilation ist die durch das Individuum geleitete Angleichung der Umwelt an die eigenen Handlungsmöglichkeiten; die Akkomodation ist die Anpassung der organismischen Möglichkeiten an die Erfordernisse der Umwelt (Piaget, 1976). Der Prozess der Assimilation bezieht sich also auf die Umgestaltung der Umwelt, während der Prozess der Akkomodation die Umgestaltung des Lebewesens aufgrund von Umwelteinflüssen meint. Diese Invarianten der Entwicklung wurden von Piaget als unveränderliche Anteile in dem Sinne beschrieben, als dass sie im Laufe der gesamten Entwicklung aller Individuen ständig wirksam sind und für eine immer bessere Anpassungsleistung im Laufe des Entwicklungsgeschehens sorgen (Piaget, 1947). Anpassung wird also sowohl als Zustand als auch als Prozess betrachtet (Piaget, 1973).

Von den Invarianten der Entwicklung grenzte Piaget die *Strukturen* oder *entwicklungsgesetzmäßigen Varianten* ab (Piaget, 1975). Hierbei handelt es sich um

veränderliche Anteile im Individuum, die sich innerhalb bestimmter Entwicklungsabschnitte bilden. Kinder haben zu jedem Zeitpunkt ihrer Entwicklung bestimmte subjektiv gegebene Erkenntnismöglichkeiten (Piaget, 1947). An diese Erkenntnismöglichkeiten, die Schemata genannt werden, kann die Umwelt assimiliert werden bzw. kann das Individuum sich akkomodieren (Piaget, 1976). Ein Schema ist eine typische Art und Weise, eine bestimmte Klasse von Objekten zu handhaben. Strukturen sind den Schemata übergeordnet und stellen organisierte Verbindungen von Schemata dar (Piaget, 1976).

Als dritten Anteil der kognitiven Entwicklung beschrieb Piaget die *Inhalte* oder *nicht entwicklungsgesetzmäßigen Varianten*. Inhalte sind die Gegenstände, auf die die Schemata oder Strukturen angewendet werden. Piaget maß den Inhalten keine große Bedeutung im Entwicklungsgeschehen zu. Er ging davon aus, dass die Ausbildung bestimmter Strukturen dazu führt, dass die ihnen zugrunde liegenden logischen Erkenntnismöglichkeiten in immer gleicher Weise auf bestimmte Inhalte angewandt werden und damit bereichsübergreifende Gültigkeit besitzen (Piaget, 1972a, 1975). Spätere Forschungsarbeiten zeigten allerdings, dass die Inhalte eine deutlich größere Rolle spielen, als Piaget angenommen hat, und dass trotz logischer Parallelen eine Struktur im gleichen Entwicklungsabschnitt auf einen bestimmten Inhalt angewandt werden kann, auf einen anderen allerdings nicht (vgl. Kapitel I.2.2). Piaget nannte diese teilweise Inhaltsabhängigkeit bestimmter Denkprozesse innerhalb einer Altersgruppe „horizontale Verschiebung“ (Piaget, 1983), interessierte sich allerdings nur wenig für diese.

Ein bekanntes Element aus Piagets Theorie ist die Stufentheorie der Strukturen der kognitiven Entwicklung (vgl. Kapitel I.2.1.2). Der Ausgangspunkt für die Beschreibung der Strukturen bildete die Annahme, dass Erkenntnishandlungen nicht sichtbar sind, sondern interiorisierte, ursprünglich äußere Handlungen darstellen (Piaget & Inhelder, 1972). Piaget unterschied hierbei drei Interiorisierungsstufen oder *Konstruktionen* (Piaget, 1981; Piaget & Inhelder, 1972): Die erste Klasse von Schemata, die Kinder repräsentieren können, besteht ausschließlich aus motorischen und sensorischen Schemata. Gelingt deren Koordination, bildet sich als erste Struktur die erste Repräsentationsstufe der sensomotorischen Intelligenz. Anschließend erfolgt die allmähliche Interiorisierung dieser motorischen und sensorischen Schemata, so dass erste mentale Vorstellungen entstehen. Diese sind rein konkret repräsentiert und stellen die zweite Repräsentationsstufe dar. Schließlich bilden Kinder nicht nur konkrete Repräsentationen, sondern nutzen willkürliche Zeichen oder Variablen als Stellvertreter für den konkreten Gegenständen übergeordnete Prinzipien. Diese dritte Repräsentationsstufe wurde von Piaget als formale Repräsentationsstufe bezeichnet.

Piaget (1947) nahm an, dass diese Repräsentationsstufen zwingend aufeinander im Verlauf der Individualentwicklung folgen und daher entwicklungsgesetzmäßig auftreten. Auf

jeder der Interiorisierungsstufen streben die Schemata eine Koordination in Strukturen an. Als besonders relevant betrachtete Piaget die Frage, wie genau der Mechanismus der Progression und Koordination von Schemata zu neuen Strukturen erfolgt (Piaget & Inhelder, 1972). Piaget und Inhelder (1972) und Piaget (1981) nannten als wichtige Einflussfaktoren die Reifung des Nervensystems, die Erfahrungen des Kindes, sowie soziale Interaktionen, betonten aber, dass noch ein weiterer Mechanismus hinzukommen müsse, um die Progression kognitiver Strukturen erklären zu können. Dieser Mechanismus ist ein innerer Ausgleichsprozess im Sinne einer Selbstregulierung, für den die Invarianten der Entwicklung, also die Assimilations- und Akkomodationsprozesse, vonnöten seien (Piaget, 1976, 1981). Piaget (1976) nannte diesen selbstregulativen Ausgleichsprozess *Äquilibrationsprozess* und das Erreichen eines ausgeglichenen Zustandes die *Äquilibration*. Das Kind begegnet äußeren Störungen, die Ungleichgewichte auslösen können. Diese Störungen können in Misserfolgen oder Irrtümern bestehen, sofern das Kind sich derer bewusst wird, oder um Wissenslücken, die dann zu einer Störung werden, „wenn es sich um einen nicht vorhandenen Gegenstand oder die Bedingungen einer Situation handelt, die notwendig wären, um eine Aktion durchzuführen, oder etwa um das Fehlen einer Kenntnis, die unentbehrlich wäre, um ein Problem zu lösen“ (Piaget, 1976, S. 26). Auf diese Störungen reagiert das Kind mit einem Assimilationsversuch, d.h. das Kind versucht, unter Zuhilfenahme seiner vorhandenen kognitiven Schemata und Strukturen die Störung zu beseitigen (Piaget, 1976). Nach ein paar Assimilationsversuchen kann es allerdings passieren, dass das Kind auf Widerstände stößt und die Störung nicht aufgrund seiner vorhandenen Schemata oder Struktur beseitigen kann. Solche Widerstände führen zur Akkomodation und schließlich zum Erreichen eines neuen verbesserten Gleichgewichtszustandes, einer „majorierenden Äquilibration“ (Piaget, 1976, S. 36). Es handelt sich also nicht um statische Gleichgewichtszustände, die nach Störungen immer wieder in genau gleicher Weise auftreten, sondern um eine Entwicklung hin zu qualitativ verschiedenen, neuen und umfassenderen Gleichgewichtszuständen (Piaget, 1976). Der Zustand einer koordinierten Schemagruppe, also das Erreichen einer Struktur, sowie eine zunehmend bessere Anpassung (Adaptation) des Individuums an die Umwelt durch das Erreichen immer umfassenderer Äquilibrationszustände stellt nach Piaget und Inhelder (1972) das Ziel von kognitiver Entwicklung dar. Piaget beschrieb das Zusammenspiel von Assimilation und Akkomodation im Detail als Kreisreaktionen oder Zirkulärreaktionen (Piaget, 1976).

### 2.1.2 Die Stufentheorie

Piaget nahm im Laufe seiner Arbeiten eine immer genauere Beschreibung der Strukturen vor, die auf den drei Repräsentationsstufen oder Konstruktionen basieren, so dass eine immer detailliertere Stufentheorie der kognitiven Entwicklung ausgearbeitet wurde. Im Folgenden werden einige zentrale Aspekte der Stufentheorie dargestellt.

Die *sensomotorische Phase* beschrieben Piaget und Inhelder (1972) als eine Entwicklungsstufe, die noch ohne Vorstellungskraft auskommt. Diese Entwicklungsstufe wurde in sechs Stadien untergliedert und umfasst etwa die ersten zwei Lebensjahre. Der Ausgangspunkt besteht im Stadium der Reflexe (1. Stadium), in dem das angeborene Verhaltensrepertoire (z.B. Saugen) geübt, konsolidiert und an die jeweiligen Gegebenheiten angepasst wird. Das Stadium der Ausbildung erster Gewohnheiten (2. Stadium) beinhaltet hauptsächlich die primären Kreisreaktionen: Handlungen, die zu einem angenehmen Resultat geführt haben, werden wiederholt und auf immer mehr Bereiche angewandt. Das Sehen und Hören wird koordiniert, allerdings fehlt noch eine Koordination von Sehen und Greifen (Piaget, 1973). Die ersten beiden Stadien betrachtete Piaget (1973) noch nicht als Stadien, in denen intelligente Verhaltensweisen auftreten, denn den Verhaltensweisen von Kindern auf diesen Stufen fehlt die Intentionalität. Diese liegt erst ab dem 3. Stadium vor. Das 3. Stadium ist gekennzeichnet durch die sekundären Kreisreaktionen: Handlungen werden erstmals intentional als Mittel zum Zweck eingesetzt. Eine sekundäre Kreisreaktion erfolgt allerdings nur dann, wenn eine zufällige Wirkung des eigenen Handelns als das Ergebnis dieses Handelns erlebt wird (Piaget, 1973). Beispielsweise kann ein Kind entdecken, dass das Ziehen an einer Schnur ein Mobile bewegt. Das Kind wird dann das Ziehen an der Schnur wiederholen, um das Mobile weiterhin zu bewegen. Eine Handlung wird hier zufällig als Mittel zu einem erwünschten Zweck erkannt, allerdings wird es nicht in der Absicht entdeckt, ein bestimmtes Problem zu lösen oder ein Bedürfnis zu befriedigen. Im 4. Stadium dagegen koordiniert das Kind bereits bekannte Schemata miteinander, um einen bestimmten Zweck zu erreichen. Piaget (1973) sah dieses Stadium als den Beginn intelligenter Verhaltensweisen an. Der Unterschied zwischen diesem Stadium und dem 3. Stadium besteht darin, dass das Kind nicht mehr nur ein interessantes Phänomen andauern lassen möchte, sondern absichtlich Verhaltensschemata koordiniert, um ein Ziel zu verfolgen, das nicht mehr direkt zugänglich ist. Den Übergang zwischen diesem Stadium und dem nachfolgenden Stadium der tertiären Kreisreaktionen (5. Stadium) beschrieb Piaget (1973) im Kontext des Entdeckens neuer Gegenstände. Das Kind versucht, diese in jedes der schon vertrauten Verhaltensschemata einzuordnen, indem es sie der Reihe nach an dem Gegenstand ausprobiert, also an einem Gegenstand saugt, danach greift, ihn betastet, auf

ihn einschlägt. Dadurch versucht das Kind, den Gegenstand zu „verstehen“, allerdings auf einer rein sensorischen und motorischen Ebene. Die Aufmerksamkeit ist auf den Gegenstand selbst gerichtet und nicht mehr ausschließlich auf die Handlungen, die man mit diesem Gegenstand ausführen kann. Im Stadium der tertiären Kreisreaktionen wird der Gegenstand daher endgültig losgelöst von den eigenen Handlungen betrachtet und ist für die Kinder zunehmend von primärem Interesse. Das Kind versucht, durch eine Art von Experimentieren herauszufinden, in welcher Beziehung ein Gegenstand neu ist. Es macht „Experimente, um zu sehen“ (Piaget, 1973, S. 270), d.h. es provoziert selbst bestimmte Ergebnisse und probiert aktiv Verhaltensschemata aus. Das 6. Stadium bildet den Übergang von der sensomotorischen Phase zur anschließenden konkreten Phase. In diesem Übergangsstadium wird das Kind fähig, neue Mittel zur Erreichung eines Zwecks nicht mehr nur durch äußere tatsächliche Versuche, sondern auch durch innere Kombinationen zu finden, die zu einem plötzlichen Verstehen führen (Piaget, 1947). Es treten die so genannten semiotischen (symbolischen) Funktionen auf; Das Kind nutzt Zeichen, die nur der Vorstellung dienen. Dazu gehören die Ausbildung von Sprache, inneren Bildern und symbolischen Gesten, die beispielsweise in der aufgeschobenen Nachahmung von Verhaltensweisen anderer Menschen und im Symbolspiel erkennbar werden (Piaget & Inhelder, 1972).

Die nächste Entwicklungsstufe basiert auf der zweiten Repräsentationsstufe und wurde von Piaget als *konkrete Phase* beschrieben (Piaget & Inhelder, 1973a). Sie unterteilt sich in eine *präoperatorische* und eine *konkret-operatorische* Stufe. Die präoperatorische Stufe bereitet die konkret-operatorische Stufe vor (Piaget & Inhelder, 1972). Piaget unterteilte die präoperatorische Stufe in zwei Abschnitte, die Stufe des symbolischen Denkens (mit etwa zwei bis vier Jahren) und die des anschaulichen Denkens (mit etwa vier bis sieben Jahren; Piaget, 1974; Piaget & Inhelder, 1972). Die Phase des symbolischen Denkens ist dadurch gekennzeichnet, dass die Kinder sich Vorstellungen von Dingen machen können, die nicht aktuell vorhanden sind. Die Stufe des anschaulichen Denkens ermöglicht bereits recht komplizierte denkerische Kombinationen, die aber durch eine unangemessene Logik gesteuert werden. Die Kinder begründen ihre Entscheidungen nicht auf der Grundlage von Empirie, sondern ordnen die Empirie ihren eigenen Vorannahmen und subjektiven Theorien unter (Piaget, 1974).

Nach Piaget und Inhelder (1972) findet in der gesamten präoperatorischen Phase der Übergang von einem Anfangszustand statt, in dem das Kind ausschließlich auf den eigenen Körper und die eigene Aktion zentriert ist, in einen Zustand der Dezentrierung, in dem das Kind sich aufgrund seiner objektiven Beziehungen in die Gesamtheit der Umwelt einfügen kann. Die Zentrierung von Kindern auf der präoperatorischen Stufe beschrieb Piaget (1972b)

zunächst ausschließlich als sozial-kommunikatives Phänomen und nutzte hierbei den Begriff der Egozentrität oder des Egozentrismus. Dem Kind geht es beim Sprechen nicht um die Kommunikation mit anderen Personen, sondern es spricht ausschließlich für und zu sich selbst (Piaget, 1972b). Dementsprechend ist das präoperatorische Sozialverhalten präkooperativ, d.h. Kinder dieser Entwicklungsstufe haben Schwierigkeiten damit, die Gesichtspunkte ihrer Gesprächspartner zu berücksichtigen. Dadurch entstehen „kollektive Monologe“, in denen jedes Kind mit sich selbst spricht, ohne den anderen Kindern zuzuhören (Piaget, 1972a; Piaget & Inhelder, 1972). In späteren Arbeiten fasste Piaget den Egozentrismusbegriff weiter und definierte ihn als eine Einschränkung in der Funktion des Denkens präoperatorischer Kinder, die sekundär Auswirkungen auf ihr Sozialverhalten und ihre Kommunikationsfähigkeiten hat (Piaget, 1978, 1981). Mit Egozentrismus ist die Unfähigkeit des präoperatorischen Kindes gemeint, sich in den Standpunkt eines anderen zu versetzen und zu verstehen, dass dessen Sicht eines Gegenstandes möglicherweise von der eigenen abweicht (Piaget, 1978). Piaget (1972a) ging davon aus, dass dadurch, dass das präoperatorische Kind nicht das Bedürfnis hat, sein Denken zu sozialisieren, es sich auch nicht darum bemüht, Andere von seinen Ansichten durch das Anführen von Beweisen zu überzeugen. Die Egozentrik des Denkens bringt eine gewisse Unbewusstheit in Bezug auf Denkprozesse mit sich, da die Gründe, die den eigenen Denkprozess geleitet haben, unwichtig sind, wenn das Kind nur für sich denkt (Piaget, 1972a). Erst unter dem Druck der Diskussionen mit Anderen kommt das Kind in die Situation, sich für seine eigenen Ideen und Gedanken rechtfertigen zu müssen (Piaget, 1972a). Hierdurch entsteht die Gewohnheit, sich beim Denken zu beobachten, wodurch sich die Introspektionsfähigkeit entwickelt (Piaget, 1972a). Diese ist etwa ab dem 7. Lebensjahr vollständig vorhanden. Ab diesem Alter ähnelt die Form der Diskussion der von Erwachsenen, in dem ein Austausch von Standpunkten mit der Bemühung, den eigenen zu begründen und einander zu verstehen, zustande kommt (Piaget, 1972a). Es entstehen etwa zeitgleich erste Anzeichen dafür, logische Widersprüche vermeiden zu wollen (Piaget, 1972a).

Die Zentrierung von Kindern im präoperatorischen Stadium zeigt sich nach Piaget und Inhelder (1972) im rein kognitiven Bereich bei den Aufgaben zum noch nicht vorhandenen Erhaltungsbegriff oder Invarianzprinzip. Piaget führte hierzu eine Reihe von Experimenten durch, in dem Objekte ihr Erscheinungsbild veränderten, aber nicht ihre grundlegenden Eigenschaften. Beispielsweise wurde eine bestimmte Menge Orangensaft von einem hohen schmalen Gefäß in ein breites niedriges Gefäß gefüllt. Kinder im präoperatorischen Stadium erkennen nicht, dass die Menge des Saftes erhalten bleibt, sondern geben meist an, dass im hohen schmalen Gefäß mehr Orangensaft sei als im tiefen niedrigen Gefäß (Piaget, 1947). Ab der konkret-operatorischen Stufe verstehen Kinder, dass die Zustände, in denen sich

bestimmte Objekte befinden, Transformationen unterliegen können, und berücksichtigen diese Transformationen und ihre Reversibilität (Piaget, 1974; Piaget & Inhelder, 1972).

Den schrittweisen Erwerb des reversiblen Denkens beschrieb Piaget im Kontext seiner Arbeiten zum Problem der Klasseninklusion bzw. der Klassifizierungsoperationen (z.B. Piaget & Inhelder, 1973a, b). Mit Klasseninklusion ist gemeint, dass ein bestimmter Oberbegriff untergeordnete Begriffe umfasst, dass die Relation zwischen Oberbegriff und Unterbegriffen hierarchisch zu verstehen ist und dass diese Relation reversibel ist. Piaget und Inhelder (1973a) zeigten Kindern im präoperatorischen Stadium Bilder mit Erwachsenen und Kindern männlichen und weiblichen Geschlechts. Anschließend wurde mit Hilfe einiger Kontrollfragen geprüft, ob die Kinder die Begriffe „Kinder“, „Erwachsene“, „Mädchen“ und „Jungen“ grundsätzlich kennen; Dies war bei den meisten Kindern der Fall. Die kritische Frage des Experiments lautete „Sind da mehr Mädchen oder mehr Kinder auf dem Bild?“. Die Frage zielte darauf ab, ob die Kinder verstanden haben, dass die Beziehung zwischen der Oberklasse „Kinder“ und der Unterklasse „Mädchen“ reversibel ist, d.h. dass die Unterklasse der Mädchen wieder in die Oberklasse Kinder integriert werden kann. Piaget und Inhelder (1973a) zeigten, dass Kinder im präoperatorischen Stadium meist verstehen, dass die Oberklasse „Kinder“ die Unterklassen „Mädchen und Jungen“ umfasst, aber noch kein hinreichendes Verständnis für die Reversibilität dieser hierarchischen Struktur haben und es dadurch nicht schaffen, die Integration der Unterklassen in die Oberklasse gedanklich rückgängig zu machen.

Die Entwicklung zur logischen Klassifizierung durch den Erwerb des reversiblen Denkens wurde in Piaget und Inhelder (1973a, b) in vier Schritten beschrieben und umfasst sowohl das präoperatorische als auch das konkret-operatorische Stadium. Der erste Schritt besteht in einem Stadium der *figuralen Kollektionen* mit etwa 3-4 Jahren, in dem das Kind bei dem Versuch, verschiedene Objekte zu ordnen, häufig zunächst ein Objekt hinstellt, und dann ein zweites hinzu stellt, das dem ersten hinsichtlich eines Merkmals ähnelt (z.B. werden ein Hund und eine Katze zusammengelegt). Anschließend stellt es ein weiteres Objekt hinzu, bei dem das Zuordnungsmerkmal wechselt (z.B. wird zum Hund und zu der Katze ein Haus hinzugefügt, weil alle zusammen im Haus leben; Piaget & Inhelder, 1973a), oder es wird ein neues Paar erstellt (z.B. Haus und Kirche; Piaget, Grize, Szeminska & Bang, 1977). Das Endergebnis ist häufig eine Gesamtanordnung, die eine bestimmte räumliche Form (eine Reihe oder ein Rechteck) aufweist (Piaget & Inhelder, 1973a). Piaget und Inhelder (1973b) beschreiben dieses Phänomen als ein „Fehlen von retroaktiver Flexibilität“ (S. 69). Damit ist gemeint, dass nicht im Vorhinein Zuordnungskriterien gebildet werden, sondern dass beim Klassifizieren selbst die Kriterien hierzu entstehen, und dass diese, wenn sie einmal gebildet sind, perseverieren, d.h. nicht mehr auf Anweisung verändert werden können (Piaget &

Inhelder, 1973b). Im zweiten Schritt, dem Stadium der *nicht-figuralen* Kollektionen im Alter von fünf bis sechs Jahren, wird das Zuordnungskriterium nicht mehr spontan gewechselt, sondern es werden einzelne Kollektionen aufgrund von bestimmten Kriterien gebildet, die allerdings nicht miteinander verschachtelt werden können. So können beispielsweise Hunde zu anderen Hunden zugeordnet werden und Pferde zu anderen Pferden, aber beide Kategorien werden nicht zur übergeordneten Kategorie der Tiere zusammengefasst. Die Kinder sind in diesem Stadium mehr und mehr zu retroaktiver Flexibilität fähig; sie können ihr Ausgangsschema einem Kriteriumswechsel auf Anweisung anpassen und versuchen dabei, neu auftretende Elemente mit dem Ausgangsschema in Übereinstimmung zu bringen (Piaget & Inhelder, 1973b). Damit zeigen sie erste Ansätze einer hierarchischen Organisation von Ordnungskriterien, haben damit aber noch deutliche Schwierigkeiten (Piaget & Inhelder, 1973b). Im dritten Schritt der *hierarchischen Inklusionen* (etwa mit sechs bis sieben Jahren) kann das Kind übergeordnete und untergeordnete Kategorien bilden, es fehlt allerdings noch das Verständnis für die Reversibilität dieser Beziehung. Dieses Verständnis wird im vierten und letzten Schritt erreicht, den Piaget das Stadium der *Komplementaritäten* nennt und das Erreichen des konkret-operatorischen Stadiums im Alter von sieben bis acht Jahren markiert (Piaget & Inhelder, 1973a). Ab dem Stadium der hierarchischen Inklusionen tritt die retroaktive Flexibilität vollständig auf, d.h. die Kinder beginnen erst mit ihren Zuordnungen, wenn sie mental ein bestimmtes Anordnungsschema entworfen haben, und sie können auf Anweisung hin die Zuordnungskriterien ändern (Piaget & Inhelder, 1973b). Piaget und Inhelder messen diesem Schritt zur retroaktiven Flexibilität eine große Bedeutung für die gesamte kognitive Entwicklung zu, da sie die „fundamentale Struktur der operativen Reversibilität“ (1973b, S. 70) und damit einen wichtigen Schritt zum Erwerb der logisch-mathematischen Operationen darstellt.

Zusammengefasst bedeuten diese Ergebnisse, dass Kinder im präoperatorischen Stadium das Konzept der Reversibilität bestimmter Handlungen und Operationen noch nicht verstanden haben (Piaget & Inhelder, 1972). Es besteht eine deutliche Zentrierung auf einzelne Aspekte bestimmter Situationen, die sich in den Experimenten zum Invarianzkonzept, zu den Klassifizierungen und in den kollektiven Monologen der Kinder zeigen (Piaget & Inhelder, 1972). Kinder im *konkret-operatorischen Stadium* (mit etwa sieben bis zwölf Jahren) erreichen eine gewisse Reversibilität des Denkens und eine kognitive Dezentrierung, die es ihnen ermöglichen, Aufgaben zum Invarianzkonzept und zur Klasseninklusion zu lösen, allerdings bleiben ihre logischen Denkprozesse auf konkrete Situationen beschränkt (Piaget & Inhelder, 1972). Das konkret-operatorische Stadium beinhaltet keine neue Konstruktion, also keine höhere Interiorisierungsstufe, sondern wird von Piaget und Inhelder (1977) als eine Stufe beschrieben, in der ausschließlich die

Begrenzungen der präoperatorischen Stufe überwunden werden. Das Erreichen der nächst höheren Repräsentationsform bleibt noch aus.

Die nächst höhere Konstruktion ist die *formal-operatorische* Stufe, die dadurch gekennzeichnet ist, dass ein systematisches Nachdenken über hypothetische Situationen möglich wird (Piaget & Inhelder, 1977). Das formale wissenschaftliche Denken, das sich durch ein Basisverständnis für systematisches Hypothesentesten und Experimentieren auszeichnet, beginnt mit diesem Stadium, das Kinder etwa ab dem zehnten bis zwölften Lebensjahr erreichen können, das aber auch von Erwachsenen nicht zwingend erreicht wird (Inhelder & Piaget, 1958; Piaget 1974). Ab diesem Stadium wird es den Kindern möglich, die Realität auf einen Zeichensatz mit Verknüpfungsregeln zu abstrahieren (Inhelder & Piaget, 1958). Der zentrale Unterschied zu den vorangehenden Stadien besteht darin, dass das Kind nun nicht mehr auf gegebene konkrete Informationen beschränkt ist, sondern über die vorgefundenen Informationen hinausdenken kann (Piaget 1974; Piaget & Inhelder, 1972). Die Kinder können ab diesem Stadium kombinatorische Strukturen aufbauen und damit andere mögliche Realitäten antizipieren, was die Basis planvollen Experimentierens darstellt (Inhelder & Piaget, 1958; Piaget & Inhelder, 1972). Piaget und Inhelder (1977) konfrontierten Kinder im konkret-operatorischen und Kinder im formal-operatorischen Stadium beispielsweise mit der Anforderung herauszufinden, von welchen Variablen die Schwingungsfrequenz eines Pendels abhängt. Den Kindern wurde demonstriert, dass ein kurzes schweres Pendel schnell, ein langes leichtes Pendel dagegen langsam schwingt. Die Variablen, die für die Schwingungsfrequenz verantwortlich sein könnten, sind die Länge, das Gewicht und der Anstoßwinkel des Pendels. Kinder, die das formal-operatorische Stadium erreicht hatten, zeichneten sich dadurch aus, dass sie sofort damit begannen, ein System von Hypothesen zu konstruieren, die sie mit Hilfe gezielter Experimente prüften (Piaget & Inhelder, 1977). Diese Experimente waren dadurch gekennzeichnet, dass durch Konstanthaltung von Variablen bei gleichzeitiger Variation *einer* fokalen Variable schließlich die richtige Variable, die die Schwingungsfrequenz bestimmt, ermittelt werden konnte (die Länge des Pendels; Piaget & Inhelder, 1972). Es wurde folglich die sogenannte Variablenkontrollstrategie angewandt (Inhelder & Piaget, 1958). Kinder auf der konkret-operatorischen Stufe dagegen stellen keine konkreten Hypothesen auf, sondern agieren von Anfang an, in dem verschiedene Kombinationen von Variablen ausprobiert werden und versucht wird, die Ergebnisse irgendwie zu ordnen (Piaget & Inhelder, 1977).

Zusammengefasst besteht das Experimentieren konkret-operatorischer Kinder nach Piaget und Inhelder (1977) darin, mögliche Aktionsmodelle zu entwerfen, die letztlich eine Verlängerung des Wirklichen darstellen, während sich formal-operatorische Kinder vorstellen, wie die Wirklichkeit beschaffen sein müsste, wenn eine Hypothese erfüllt wäre.

Evidenzen werden ab dem formal-operatorischen Stadium als „tatsächliche Verwirklichung innerhalb einer umfassenden Vielfalt möglicher Transformationen“ (Piaget & Inhelder, 1977, S. 238) aufgefasst. Mit der Fähigkeit zum Experimentieren entsteht zudem eine neue Experimentierfreude und eine Experimentiermotivation, die auf der Stufe der konkreten Operationen noch nicht auftritt (Piaget & Inhelder, 1972).

Piagets Theorie der kognitiven Entwicklung umfasst mit der Stufentheorie der entwicklungsgesetzmäßigen Varianten oder Strukturen nicht nur eine detaillierte Entwicklungsbeschreibung, sondern mit den Überlegungen zu Assimilations- und Akkomodationsprozessen auch Hypothesen zu den Mechanismen, die die Entwicklung von einer Struktur zur nächst höheren Struktur vorantreiben. Die Schemata stellen in Piagets Theorie die Entwicklungsmotoren dar, da sie zunächst die Tendenz haben zu assimilieren und bei einem bedeutsamen Assimilationswiderstand zu akkomodieren beginnen (Piaget & Inhelder, 1972). Das Ziel dieser Prozesse besteht daher nach Piagets Theorie im Erreichen von Äquilibrationszuständen, die ein immer umfassenderes und realitätsangepasstes Funktionieren in Interaktion mit der Umwelt ermöglichen. Eine Entwicklungsbeeinflussung wird dadurch durch die Konfrontation mit neuen Inhalten möglich, wobei Piaget eine Beeinflussung der kognitiven Entwicklung mit dem Ziel, sie systematisch voranzutreiben, explizit ablehnte (Piaget, 1981). Er ging davon aus, dass jede Stufe der nächst höheren vorangehen muss, also für die folgenden Stufen verantwortlich ist, und die Schemata der vergangenen Stufen in die folgende Stufe integriert werden (Piaget & Inhelder, 1972).

### 2.1.3 Das „Kind als Wissenschaftler“

Piaget verglich in seinen Arbeiten die Tätigkeiten von Kindern, die ihnen zum Erkenntnisgewinn dienen, mit den Forschungstätigkeiten von Wissenschaftlern (Piaget, 1981). Die grundlegende Annahme seiner Theorie, dass Kinder in der Auseinandersetzung mit ihrer Umwelt und den daraus folgenden Assimilations- und Akkomodationsprozessen ihre Erkenntnisse generieren und strukturieren legt das Bild des „Kindes als Wissenschaftler“ nahe, das die Umwelt aktiv mit Hilfe unterschiedlicher Methoden exploriert.

Nachfolgende theoretische Ansätze zur kognitiven Entwicklung beschäftigten sich mit der Frage, ob und in welcher Hinsicht dieses Bild zutrifft (vgl. Kapitel I.2.2 und I.2.3), allerdings wurde hierbei selten berücksichtigt, dass Piaget detaillierte Überlegungen dazu anstellte, inwiefern die Erkenntnishandlungen von Kindern auf verschiedenen Entwicklungsstufe tatsächlich mit den Forschungstätigkeiten von Wissenschaftlern verglichen werden können. Piaget (1973) benannte erste experimentelle Handlungen von Kindern bereits im 5. Stadium der sensumotorischen Stufe als tertiäre Kreishandlungen. In der Beschreibung des Übergangs vom 4. zum 5. Stadium begründete Piaget (1973), warum tertiäre

Kreishandlungen eine im weitesten Sinne wissenschaftliche Tätigkeit darstellen (vgl. Kapitel I.2.1.2). Während die Aufmerksamkeit im 4. Stadium noch auf eigene Handlungen und Handlungsmöglichkeiten gerichtet ist, ist im 5. Stadium ein neu zu entdeckender Gegenstand selbst von primärem Interesse für das Kind (Piaget, 1973, 1976). Durch „Experimente, um zu sehen“ exploriert das Kind diese Gegenstände, d.h. es provoziert Ergebnisse mittels Verhaltensschemata, die es bereits kennt und aktiv variiert: „Mit anderen Worten, die Sache läuft so ab, als ob sich das Kind vor einem neuen Gegenstand sagen würde: „Was ist denn das für eine Sache? Ich sehe sie, ich höre sie, ich kann sie ergreifen, ich betrachte sie, ich wende sie um und erkenne sie nicht: Was kann ich noch mehr damit tun?““ (Piaget, 1973, S. 263). Ab diesem Stadium verläuft die Exploration neuer Gegenstände intentional und zielgerichtet und gleicht in dieser Hinsicht einer wissenschaftlichen Untersuchung.

Als konkretes Beispiel für diese Art des Experimentierens mit neuen Gegenständen beschrieb Piaget (1973) die Tätigkeit seines Sohnes Laurent folgendermaßen:

„Laurent [liegt] auf dem Rücken. [...] Er ergreift nacheinander einen Schwan aus Zelluloid, eine Schachtel usw., streckt den Arm aus und lässt sie fallen. Dabei variiert er ganz deutlich die Fallstellungen. [...] Wenn der Gegenstand auf einen neuen Platz fällt (z.B. auf das Kopfkissen), lässt er ihn zweimal oder dreimal hintereinander auf diesen Ort fallen, wie um diese spezielle [d.h. räumliche] Relation genau zu studieren.“ (Piaget, 1973, S. 272)

Anhand dieses Beispiels wird deutlich, dass das „Experiment, um zu sehen“ dadurch gekennzeichnet ist, dass Zusammenhänge zwischen Variablen (Fallstellung, Aufprallen des Gegenstandes) exploriert und anschließend wiederholt werden. Hinzu kommt die aktive Variation einer Variablen (das Verhaltensschema der Fallstellung), um die Wirkung auf die andere Variable (Aufprallen des Gegenstandes) zu beobachten. Dadurch können Schemata, die als Mittel zur Erreichung eines Zwecks dienen, erkannt und variiert werden (Piaget, 1947).

Im anschließenden 6. Stadium werden Entdeckungen nicht mehr nur durch aktives „Experimentieren, um zu sehen“ gemacht, sondern auch durch innere Koordinierungen: „Es ist in der Tat eindeutig, dass das Kind, nachdem es sich die tertiären Zirkularreaktionen und das intelligente Erproben – ein wirkliches, aktives Experimentieren – zu eigen gemacht hat, früher oder später einer Verinnerlichung dieser Verhaltensweisen fähig wird.“ (Piaget, 1947, S. 120).

Piaget (1973) grenzt diese Form des Experimentes explizit vom wissenschaftlichen Experimentieren ab. Das „Experiment, um zu sehen“ ist ein funktionelles Äquivalent zum wissenschaftlichen Experiment, da es Abstufungen und Variationen von Variablen beinhaltet,

es erfüllt aber nicht die Kriterien einer „Verifizierung einer vorher konzipierten Deduktion, wie das beim wissenschaftlichen Experiment der Fall ist“ (Piaget, 1973, S. 278).

Die Entdeckungen präoperatorischer Kinder sind nach Piaget (1947) dadurch gekennzeichnet, dass sie nicht mehr ausschließlich durch tatsächliches Ausprobieren, sondern ab dem Erreichen des 6. Stadiums der sensomotorischen Stufe auch auf der Vorstellungsebene erfolgen können. Präoperatorische Kinder haben allerdings ausschließlich reproduktive Vorstellungen: Sie stellen sich ein Objekt oder ein Ereignis vor, wie es tatsächlich aussieht oder sich ereignet hat, ohne sich neue Kombinationen von Objekten oder Ereignissen in ihrer Vorstellung antizipatorisch auszudenken (Piaget, 1981). Aus diesem Grund können sie sich keine Ergebnisse von Experimenten vorstellen, die nicht tatsächlich aufgetreten sind. Die Fähigkeit, sich neue antizipatorische Kombinationen von Ereignissen vorzustellen, ist erst konkret-operatorischen Kindern möglich (Piaget, 1981).

Ein weiteres Kennzeichen des Experimentierverhaltens von Kindern auf der präoperatorischen Stufe besteht nach Piaget und Inhelder (1977) in einer paradoxen Haltung gegenüber dem Zufall. Kinder dieser Entwicklungsstufe erwarten, dass sich Ergebnisse von Experimenten unter den gleichen Umständen identisch wiederholen und keine Abweichungen auftreten (Piaget & Inhelder, 1977). Wenn beispielsweise eine Kugel eine Rampe herunterrollt und an einem bestimmten Punkt zum Liegen kommt, muss die Kugel bei einem erneuten Versuch exakt an der gleichen Stelle zum Liegen kommen (Piaget & Inhelder, 1977). Sobald kleine Abweichungen auftreten, wird das Phänomen für vollkommen willkürlich gehalten („Die Kugel rollt mal hier und mal da hin“; Piaget & Inhelder, 1977, S. 213). Kinder auf der konkret-operatorischen Stufe (ab etwa sieben Jahre) wundern sich nicht mehr über Abweichungen, sondern antizipieren diese oft („die Kugel rollt ungefähr an die gleiche Stelle“; Piaget & Inhelder, 1977, S. 215) und sagen die Ergebnisse eines Experimentes nur vorsichtig vorher. Dieses Verständnis dafür, dass die Ergebnisse von Experimenten teilweise zufallsbedingt zu Stande kommen, ist ein Vorläufer des Korrelationsverständnis (Piaget & Inhelder, 1977).

Den Übergang zwischen der konkret-operatorischen und der formal-operatorischen Stufe in Bezug auf wissenschaftliche Tätigkeiten beschrieben Piaget und Inhelder (1977) als Ergebnis eines Äquilibrationsprozesses, der durch die Auseinandersetzung mit „Gemischen von Inhalten“ ausgelöst wird (S. 270). Auf der konkret-operatorischen Stufe entstehen Störungen oder Ungleichgewichte dadurch, dass das Kind noch nicht mit Überlappungen verschiedener Inhaltsbereiche, die es bereits strukturiert hat, umgehen kann (Piaget & Inhelder, 1977). Es hat beispielsweise die Bereiche der Gewichte, der Größen und der Flächen strukturiert und logisch erfasst, allerdings erfolgte die Strukturierung nacheinander, ohne Beziehung zueinander (Piaget & Inhelder, 1977). Wenn das Kind nun mit einem Effekt

konfrontiert wird, der aufgrund mehrerer miteinander verbundener Ursachen ausgelöst worden sein kann, dann kann es nicht herausfinden, wie die Ursache(n) für den Effekt tatsächlich beschaffen sind (Piaget & Inhelder, 1977). Diese Störung der konkret-operatorischen Struktur des Denkens kann nur durch eine Akkomodation unter Ausbildung neuer operativer Werkzeuge aufgelöst werden (Piaget & Inhelder, 1977).

Die Konfrontation mit solchen Störungen führt nach Piaget und Inhelder (1977) früher oder später zu einer neuen Haltung dem Experiment und dem Experimentieren gegenüber. Experimente dienen ab der formal-operatorischen Stufe dem Versuch, Faktoren auseinanderzuhalten, um ihren Einfluss zu bestimmen. Kinder auf der konkret-operatorischen Stufe variieren zwar den Faktor, den sie für relevant halten, wissen aber im Gegensatz zu Kindern der formal-operatorischen Stufe noch nicht, wie sie den Einfluss anderer Faktoren ausschalten oder neutralisieren sollen (Piaget & Inhelder, 1977). Zudem arbeiten Kinder in der formal-operatorischen Stufe sowohl den Einfluss des Zufalls als auch die Gesetzmäßigkeiten im Verlauf von Experimenten heraus und wägen beides ab (Piaget & Inhelder, 1977). Dadurch wird das im konkret-operatorischen Stadium beginnende Korrelationsverständnis weiter ausgeformt (Piaget & Inhelder, 1977). Allmählich entwickelt sich eine neue intellektuelle Haltung, die eine Unterscheidung zwischen für die zu verifizierende Hypothese günstigen und ungünstigen Fällen beinhaltet (Piaget & Inhelder, 1977).

Piaget nahm folglich an, dass sich lediglich das *formale* wissenschaftliche Denken, das sich durch ein bewusstes Verständnis für den Zweck von Experimenten als Möglichkeit, Einflussfaktoren auf ein Phänomen zu entdecken und zu differenzieren, erst mit dem formal-operatorischen Stadium zu Beginn der Adoleszenz entwickelt (Piaget & Inhelder, 1977). Kinder, die sich auf den vorhergehenden Entwicklungsstufen befinden, experimentieren ebenfalls, allerdings unterscheiden sich die Experimente und das Verständnis für die Methoden des Erkenntnisgewinns in bedeutsamem Ausmaß von denen formal-operatorischer Kinder (Piaget, 1973). Die Gemeinsamkeit des Experimentierens jüngerer Kinder und des Experimentierens älterer Kinder liegt in der gezielten Variation von Variablen; die Unterschiede liegen im Bereich der Anwendung der Variablenkontrollstrategie, dem bewussten Umgang mit Zufallsergebnissen sowie in der bewussten Bewertung von Evidenzen, die für oder gegen eine Hypothese sprechen.

Das Verständnis für die Methoden des Erkenntnisgewinns auf der formal-operatorischen Stufe setzt eine bewusste Reflektion über den Erkenntnisgewinn voraus. Experimente werden nicht mehr nur durchgeführt, sondern das Ziel von Experimenten als Mittel des Erkenntnisgewinns wird reflektiert und abstrahiert. Piaget (1975) unterschied zwei Arten von Abstraktionen: Der empirische Abstraktionstyp leitet seine Information aus den

Gegenständen selbst ab (Piaget, 1975). Der reflektierende Abstraktionstyp leitet seine Information nicht von den Gegenständen, sondern von den Aktivitäten des Subjekts ab (Piaget, 1975). Piaget (1975) argumentierte, dass die empirische Abstraktion nie alleine auftritt, sondern von der reflektierenden Abstraktion abhängig ist. Um von einem Gegenstand irgendeine Information abzuleiten, braucht das Kind bestimmte Assimilationsapparate, also eine Menge von kognitiven Werkzeugen, die ihm das Ablesen von Informationen ermöglichen (Piaget, 1975). Die Ergebnisse von Experimenten, also die daraus entstehenden Evidenzen, spiegeln einerseits die Eigenschaften des untersuchten Gegenstandes wieder (Piaget, 1975). Die Ergebnisse abzulesen, also den Inhalt zu erfassen, erfordert daher empirische Abstraktion (Piaget, 1975). Andererseits weist ein Experiment von vornherein eine logisch-mathematische Struktur auf, so dass die eigentliche Bedeutung von Evidenzen für den Erkenntnisgewinn reflektierende Abstraktion erfordert (Piaget, 1975). Dies ist auch schon beim „Experimentieren, um zu sehen“ der Fall, allerdings ist die reflektierende Abstraktion dort noch recht einfach (Piaget, 1975). Die reflektierende Abstraktion erreicht ihren höchstmöglichen Ausprägungsgrad im Erreichen der formal-operatorischen Stufe (Piaget, 1975). Eine bestimmte Erkenntnishandlung, wie das Experimentieren, wird bereits angewandt, bevor sie bewusst verstanden wird (Piaget, 1975): „Die Operationen, die während der ersten Periode hauptsächlich als Rechen- oder Deduktionswerkzeuge dienten, werden in der anschließenden Periode differenzierte Objekte des Denkens, und eben diese Thematisierung mit expliziter Bewusstwerdung und reflektierter Abstraktion oder reflexivem Denken ermöglicht jetzt die Konstruktion einer neuen Theorie.“ (Piaget, 1975, S. 97).

Piaget arbeitete qualitative Unterschiede in den Erkenntnishandlungen von Kindern unterschiedlicher Entwicklungsstufen heraus, insbesondere in Bezug auf ihre Experimentierfähigkeiten. Er betonte die besondere Rolle der bewussten Reflektion über Methoden des Erkenntnisgewinns auf der formal-operatorischen Stufe als wichtiges Entwicklungsziel, damit Experimente nicht nur „um zu sehen“ durchgeführt, sondern als gezielte Werkzeuge des Erkenntnisgewinns eingesetzt werden können (Piaget, 1975). Ein vollständiges Verständnis für wissenschaftliche Methoden liegt gemäß Piaget daher erst mit Beginn der formal-operatorischen Stufe ab der Adoleszenz vor.

Im weiteren Forschungsverlauf wurde der Vergleich des die Welt entdeckenden Kindes mit dem des forschenden Wissenschaftlers von Kritikern und Nachfolgern Piagets aufgegriffen. Im Folgenden wird zunächst ein neopiagetianischer Ansatz dargestellt, bevor zwei weitere theoretische Ansätze beschrieben werden, die sich vom Ansatz Piagets deutlich unterscheiden. Letztere prägten den Forschungsverlauf zur Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens insbesondere in den letzten Jahrzehnten. Ebenso wenig wie bei

der Beschreibung der Theorie Piagets kann aufgrund der Fülle der Befunde der Anspruch auf Vollständigkeit erfüllt werden; es werden lediglich die Aspekte der Theorien herausgegriffen, die für den späteren Forschungsverlauf und die Herleitung der Forschungsfragen (vgl. Kapitel I.3 und I.4), mit denen sich die vorliegende Arbeit befasst hat, von Bedeutung sind.

#### 2.1.4 Neopiagetianische Theorien der Informationsverarbeitung

Im Rahmen der Theorien der Informationsverarbeitung wurde versucht, die Kernannahme Piagets, dass bereichsübergreifende Veränderungen kognitiver Strukturen die Entwicklung verschiedener Inhaltsbereiche beeinflussen, weiterzuentwickeln. Die Annahme Piagets, dass die kognitive Entwicklung durch den Prozess der Äquilibration voranschreitet, wurde von vielen Autoren als zu ungenau und zu wenig differenzierte These betrachtet (z.B. Flavell, 1982). Mit Hilfe der Techniken der Aufgabenanalyse wurde durch Informationsverarbeitungstheoretiker versucht, die am Denken beteiligten Prozesse möglichst detailliert zu beschreiben (z.B. Klahr, 1978). Aus Sicht der Informationsverarbeitungstheorien durchlaufen Kinder in erster Linie kontinuierliche kognitive Veränderungen, die sich auf die allmähliche Erweiterung ihrer Informationsverarbeitungskapazitäten beziehen (Case, 1999). Diese Erweiterung kann durch eine Ausweitung der Verarbeitungsmenge, durch immer effizientere und immer stärker automatisierte kognitive Basisprozesse und durch den Erwerb neuer Strategien und neuen Wissens über das Denken geschehen (Case, 1999).

Im Folgenden soll als Beispiel für eine Informationsverarbeitungstheorie die Theorie der geistigen Entwicklung von Robbie Case vorgestellt werden. Case Theorie kann als neopiagetianische Theorie der Informationsverarbeitung bezeichnet werden, da zentrale Elemente der Theorie Piagets, wie die hierarchische Strukturierung der Entwicklung in Form von Stufen, aufgenommen und durch Annahmen des Informationsverarbeitungsansatzes erweitert wurden. Case (1999) nahm an, dass kognitive Prozesse immer die Form des Problemlösens aufweisen. Die Struktur des Problemlösens nannte Case die exekutive Kontrollstruktur. Sie besteht aus drei Teilen: Die Repräsentation der Ausgangssituation, die Repräsentation des Ziels und die Strategien zur Zielerreichung. Die exekutive Kontrollstruktur wird im Laufe der Entwicklung immer komplexer und wirkt auf immer höheren Repräsentationsstufen. Die vier Hauptrepräsentationsstufen, die Case (1999) beschrieb, entsprechen inhaltlich und in Bezug auf die Altersbereiche weitestgehend den Stufen der Theorie Piagets, wenn hierbei die Aufteilung der konkreten Stufe in die präoperationale und die konkret-operationale Stufe berücksichtigt wird (vgl. Kapitel I.2.1.2). Case benannte die Hauptrepräsentationsstufen als die Stufe der sensomotorischen, der relationalen, der

dimensionalen und der abstrakten oder vektoriellen Kontrollstrukturen. Innerhalb der Hauptrepräsentationsstufen unterschied Case (1999) vier Teilstufen, wobei die höchste Teilstufe bereits den Übergang zur nächsten Hauptstufe darstellt.

Case (1999) beschrieb zudem fünf Mechanismen (Problemlösung, Exploration, Nachahmung, Instruktion und Reifung), die die Übergänge von einer Stufe zur nächsten gewährleisten. Der Problemlösemechanismus ist der allgemeinste Prozess und wurde von Case als die Neigung von Kindern, „mit neuen operationalen Sequenzen zu experimentieren, um ihr Ziel zu erreichen“ definiert (Case, 1999, S. 283). Der Explorationsmechanismus wird in Situationen aktuell, in denen eine Strategie angewendet werden kann, aber nicht klar ist, was daraus resultieren wird. Case beschrieb diesen Mechanismus als die Neigung von Kindern, „die fragliche Strategie oder Operation anzuwenden, einfach um ihre Neugier zu befriedigen.“ (Case, 1999, S. 287). Ebenso hielt Case den Nachahmungsmechanismus für eine natürliche Tendenz. Diesen Mechanismus sowie den Instruktionsmechanismus nahm Case (1999) durch die Auseinandersetzung mit den soziokulturellen Ansätzen (vgl. Kapitel I.2.3) in seine Theorie auf. Der Instruktionsmechanismus zeichnet sich dadurch aus, dass eine Person schon bestimmte Kontrollstrukturen besitzt und diese einer anderen Person, die sie noch nicht besitzt, beibringen möchte. Den Mechanismus der Reifung lehnte Case an das Konzept der Aufmerksamkeitsspanne von Baldwin (1894) an. Eine noch nicht ausreichende Reifung ist nach Case (1999) die Erklärung dafür, dass manchmal bestimmte Instruktionen nicht greifen. Diese fünf Mechanismen sollten nach Case die schwer operationalisierbaren Äquilibrationsprozesse nach Piaget ersetzen. Als Entwicklungsmotoren nahm Case natürliche Tendenzen zur Nutzung dieser Mechanismen an, spezifizierte aber nicht genauer, wodurch die Tendenzen entstehen.

Case konnte die vier Entwicklungsstufen in unterschiedlichen Inhaltsbereichen nachweisen. Sowohl im Bereich der Entwicklung der numerischen Kompetenzen (Case & Snowden, 1990), des räumlichen Denkens (Case, Marra, Bleiker & Okamoto, 1996) und der Theory of mind (Case, 1998) zeigten sich dieselben von ihm beschriebenen Hauptrepräsentationsstufen und Teilstufen bei Kindern zwischen vier und zehn Jahren. Diese Ergebnisse interpretierte Case als Beleg für die Existenz bereichsübergreifender kognitiver Strukturen, die in verschiedenen Inhaltsbereichen zu Veränderungen im Laufe der Entwicklung beitragen (Case, 1998).

### 2.2 Die Theorien des Kernwissens

---

Ein zentraler Kritikpunkt an Piagets Stufentheorie lautete, dass die Angaben dazu, ab welchem Alter Kinder bestimmte Aufgabentypen lösen können, nicht mit den Ergebnissen späterer Forschungsarbeiten übereinstimmten. Neuere Studien zeigten, dass Piagets

Aufgabenstellungen zu schwierig waren, so dass die kognitiven Kompetenzen insbesondere von Säuglingen und Kleinkindern (z.B. Baillargeon, 1987), aber auch von Kindern im Kindergartenalter (Carey, 1985) deutlich unterschätzt worden sind. Es zeigte sich außerdem, dass bestimmte Aufgabentypen, die gemäß Piaget auf derselben Repräsentationsstufe angesiedelt sind und deshalb im selben Altersabschnitt gelöst werden müssten, in Abhängigkeit von ihrem Inhaltsbereich in unterschiedlichen Altersabschnitten gelöst werden können (z.B. Carey, 1990; Sodian, 1995). Piaget (1983) nannte die Inhaltsabhängigkeit der Aufgabenlösungsrate auf unterschiedlichen Repräsentationsstufen „horizontale Verschiebungen“, betrachtete das kindliche Wissen über spezifische Inhalte jedoch als nachgeordnetes Ergebnis der invarianten Abfolge der Entwicklung bereichsübergreifender Strukturen.

In den letzten Jahrzehnten trat in Folge dieser Befunde das begriffliche Wissen in den Vordergrund der theoretischen Überlegungen zur kognitiven Entwicklung im Kindesalter. Es bildete sich mit den Theorien des Kernwissens ein neuer theoretischer Ansatz, der sich gegen die Vernachlässigung des bereichsspezifischen Wissens zur Erklärung kognitiver Entwicklung aussprach. Der zentrale Unterschied zwischen Piagets Ansatz und den Theorien des Kernwissens besteht darin, dass die Vertreter der Kernwissenstheorien das begriffliche Wissen innerhalb bestimmter wissenschaftlicher Disziplinen als Quelle und Motor kognitiver Veränderungen im Kindesalter ansehen, während Piaget die Entwicklung bereichsübergreifender kognitiver Strukturen für den entscheidenden Faktor im Entwicklungsgeschehen hielt. Kinder sind nach den Theorien des Kernwissens zunächst Laien in den meisten wissenschaftlichen Domänen, erwerben im Laufe ihres Lebens zunehmend mehr bereichsspezifisches Wissen innerhalb der Domänen und erreichen schließlich etwa so viel Wissen wie Erwachsene (Carey, 1985; Sodian, 1995). Die Vertreter der Theorien des Kernwissens setzen den Schwerpunkt ihrer Forschungsarbeiten daher auf die Inhalte, die Kinder im Laufe ihres Lebens lernen, und weniger auf den Erwerb logischer Strukturen.

Eine Grundannahme der Theorien des Kernwissens besteht darin, dass es bestimmte Wissensdomänen gibt, die besonders wichtig für die kognitiven Fähigkeiten von Menschen sind. Am häufigsten untersucht wurden die Domänen der Physik, der Biologie und der Psychologie (Wellman & Gelman, 1998). Diese Domänen gehen auf Piagets Untersuchungen zum Weltbild des Kindes zurück (Piaget, 1978). Piaget (1978) argumentierte, dass das schlussfolgernde Denken und Wissen im Bereich der Psychologie, der Physik und der Biologie für Erwachsene fundamental wichtig für die Alltagsbewältigung sind. In seinen Untersuchungen mit Kindern kam Piaget (1978) allerdings zu dem Schluss, dass sich das Denken von Kindern noch nicht in diese drei Domänen einteilen lasse und

folglich nicht als bereichsspezifisch zu charakterisieren sei. Vertreter der Theorien des Kernwissens dagegen nahmen zunächst eine genaue Definition der Kriterien vor, nach denen entschieden werden kann, ob das Denken von Kindern bereits spezifisch auf diese drei Domänen ausgerichtet ist. Diese Kriterien sollten den Kriterien wissenschaftlicher Theorien entsprechen. Wellman und Gelman (1998) nannten als Kriterien das Vorhandensein eines bestimmten Gültigkeitsbereichs für jede der Domänen, das Vorhandensein kausaler Erklärungen für die Phänomene innerhalb des Gültigkeitsbereichs und das Vorhandensein von eindeutigen Definitionen für bestimmte Konzepte und Begriffe innerhalb des Gültigkeitsbereichs. Anschließend wurde untersucht, ob diese Kriterien für das Wissen von Kindern in den drei Inhaltsbereichen zutrafen und daher von der Existenz bestimmter bereichsspezifischer intuitiver Theorien im kindlichen Denken ausgegangen werden kann.

Im Bereich der intuitiven Theorien der *Physik* zeigte sich, dass drei bis vier Monate alte Säuglinge bereits über ein Objektkonzept verfügen, da sie klar zwischen dem Selbst und den Objekten der Umwelt unterscheiden können und verstehen, dass Objekte nicht einfach verschwinden (Baillargeon, 1992). Vorschulkinder können eine zweite konzeptuelle Unterscheidung richtig treffen: Die Abgrenzung von materiellen und immateriellen Dingen (Wellman & Estes, 1986; Wellman, 1990). Zudem verstehen Vorschulkinder bereits, dass eine Ursache einen Effekt hervorruft und dass dabei die zeitliche Kontingenz von Ursache und Effekt berücksichtigt werden muss und äußern schon ab 4 Jahren Ideen zum vermittelnden Mechanismus zwischen Ursache und Effekt (Bullock, 1984). Es scheint daher bereits im Vorschulalter eine mit den Konzepten von Erwachsenen weitgehend vergleichbare intuitive Theorie der Physik vorzuliegen.

Im Bereich der intuitiven Theorien der *Biologie* zeigte sich, dass die Unterscheidung von Personen und unbelebten Objekten (Wellman & Gelman, 1992) und Tieren und unbelebten Objekten (Mandler & McDonough, 1993; Pauen, 1996) bereits im Säuglingsalter gelingt, aber bis zum Alter von 10 Jahren Unklarheit über die Lebendigkeit und Eigenschaften von Pflanzen herrscht (Carey, 1985). Einige biologische Prozesse wie Vererbung und Verwandtschaft, Wachstum und Krankheit sind bereits Vorschulkindern bekannt (Carey & Spelke, 1994; Gelman & Wellman, 1991; Rosengren, Gelman, Kalish & McCormick, 1991; Springer & Keil, 1991), während die Konzepte von inneren Organen und Lebensprozessen Vorschulkindern noch unklar zu sein scheinen (Carey, 1985). Eine basale biologische Theorie scheint daher bereits im Vorschulalter vorzuliegen, wobei diese inhaltlich noch nicht in allen Einzelheiten mit den Annahmen Erwachsener übereinstimmt und bedeutsame qualitative Veränderungen zwischen dem vierten und zehnten Lebensjahr stattfinden (Mähler, 1999).

Im Bereich der intuitiven Theorien der *Psychologie* (der sogenannten *Theory of Mind*; Premack & Woodruff, 1978) zeigten Studien, dass schon Dreijährige die grundlegende Unterscheidung zwischen mentaler und realer Welt verstehen (Wellman, 1990). Das Konzept mentaler Zustände scheint sich hierbei während des Kleinkind- und Kindergartenalters in charakteristischer Weise zu verändern. Zwei- bis Dreijährige Kinder begreifen mentale Zustände als Summe von direkten Erfahrungen mit den Dingen; Das Wissen erscheint ihnen als Kopie der Realität, so dass Menschen nicht als aktive Denker wahrgenommen werden (Flavell, 1988; Perner, 1991; Wellman, 1990). Vierjährige begreifen dagegen, dass die Welt wirklich unterschiedlich repräsentiert werden kann (Flavell, Green & Flavell, 1990). Bezüglich des Verständnisses für kausale psychologische Mechanismen zeigte sich, Dreijährige schon über ein Verständnis für den Zusammenhang zwischen Gedanken und Handlungen verfügen (Wellman, 1990), allerdings die Veränderung von Repräsentationen noch nicht vollständig begreifen. Dadurch haben sie Schwierigkeiten damit, den Wahrheitsbezug mentaler Inhalte zu beurteilen (Perner, 1991). Vierjährige dagegen begreifen schließlich, dass mentale Inhalte falsch sein können und daraus Handlungen abgeleitet werden müssen, die die tatsächlichen Gegebenheiten einer Situation nicht berücksichtigen; Das sogenannte „Verständnis falschen Glaubens“ ist vollständig ausgeprägt (Wimmer & Perner, 1983). Folglich scheint auch im Bereich der Psychologie bereits im Vorschulalter eine intuitive Theorie, die den beschriebenen Kriterien gerecht wird, zu bestehen. Ab dem Vorschulalter verstehen Kinder, dass Menschen auf der Grundlage mentaler Zustände agieren und interagieren (Wellman & Gelman, 1998).

Zusammengefasst zeigten die Ergebnisse der Studien von Vertretern der Kernwissenstheorien, dass schon junge Kinder voneinander abgrenzbare bereichsspezifische Theorien innerhalb des Gültigkeitsbereichs der drei Domänen Physik, Biologie und Psychologie aufstellen. Im Hinblick auf die Frage, ob kindliche Erkenntnisprozesse mit wissenschaftlichen Erkenntnisprozessen vergleichbar sind, zeigten Vertreter der Kernwissenstheorien, dass schon junge Kinder Theorien aufstellen, die grundsätzlich die Kriterien wissenschaftlicher Theorien erfüllen (Carey, 1985).

Zu der Frage, wie diese intuitiven Theorien entstehen und wie Veränderungen der intuitiven Theorien innerhalb der Domänen verlaufen, besteht Uneinigkeit unter den Vertretern der Theorien des Kernwissens. Gemäß den *Modularitätstheorien* gibt es spezialisierte Systeme (Module) der Informationsverarbeitung im Gehirn, die dazu dienen, spezielle Typen von Informationen zu repräsentieren und zu verarbeiten (z.B. Chomsky, 1988). Diese Module sind nicht unbedingt angeboren (Karmiloff-Smith, 1992), aber einige Modularitätstheoretiker nehmen zusätzlich an, dass sie eine evolutionär angelegte neurologische Basis haben (z.B. Fodor, 1983). Die Erfahrungen, die das Kind macht, gelten

als Auslöser des bereichsspezifischen Informationsverarbeitungssystems, das neue Informationen direkt gemäß den Besonderheiten des jeweiligen Moduls strukturiert, einordnet und interpretiert. Die *Modelle des Expertiseerwerbs* erklären den Wissensfortschritt innerhalb einer Domäne durch bereichsübergreifende Informationsverarbeitungsfähigkeiten und bereichsspezifischem Input (z.B. Wellman & Gelman, 1998). Es werden bei diesem Ansatz weder Annahmen über einen angeborenen Ausgangszustand des bereichsspezifischen Wissens noch über bereichsspezifische Mechanismen der Entwicklung gemacht. Die Grundannahme besteht darin, dass zunehmende Erfahrung und Übung innerhalb einer Disziplin zu immer besseren Leistungen führen und dass sich die Veränderungen der intuitiven Theorien von Kindern durch diese Prozesse erklären lassen. Insbesondere Vertreter der *Theorie-Theorie* griffen den Vergleich kindlicher Erkenntnisprozesse mit denen von Wissenschaftlern durch Piaget (1983) auf. Die Theorie-Theorie besagt, dass sich die kognitive Entwicklung des Kindes als Wandel intuitiver Theorien beschreiben lässt, wobei der Theoriewandel Ähnlichkeiten mit dem Wandel von Paradigmen der Wissenschaftsgeschichte aufweist (Gopnik & Wellman, 1994). Theorie-Theoretiker gehen davon aus, dass kindliches Wissen schon früh in intuitiven Theorien organisiert ist (z.B. Carey, 1985). Die früh erworbene Ausgangstheorie der Kinder, die auf der Basis weniger angeborener bereichsspezifischer Prinzipien entsteht, bestimmt das Denken des Kindes innerhalb einer Disziplin und leitet dessen Entwicklung (Carey, 1985). Wenn die Kinder neue Erkenntnisse gewinnen, werden sie innerhalb der bestehenden intuitiven Theorie interpretiert. Der Wandel der Theorien erfolgt über lange Zeiträume und ist schwer beeinflussbar (Brewer & Samarapungavan, 1991). Er geschieht dann, wenn über einen längeren Zeitraum theoretische Anomalitäten auftreten, d.h. wenn bestimmte Evidenzen nicht zur Theorie passen oder Vorhersagen auf Grundlage der Theorie nicht eintreten (Wellman & Gelman, 1998). Die Anomalitäten werden zunächst ignoriert, führen dann aber zu Theorierevisionen oder zu qualitativ neuartigen Theorien (Wellman & Gelman, 1998).

### 2.3 Soziokulturelle Theorien

---

Ein häufig geäußerter Kritikpunkt an Piagets Theorie bestand darin, dass Piaget sich nur wenig mit dem Beitrag der sozialen Welt zur kognitiven Entwicklung beschäftigte. Die soziokulturellen Theorien betonten den Beitrag anderer Menschen und ihrer Kultur für die kognitive Entwicklung. Vertreter der soziokulturellen Theorien maßen insbesondere der Sprache eine besondere Bedeutung im Aufbau der höheren geistigen Prozesse von Kindern zu (Luria, 1982; Wygotsky, 1969).

Wygotsky (1969) entwickelte viele Aspekte seiner Theorie in Auseinandersetzung mit den theoretischen Annahmen Piagets. Er ging davon aus, dass es im Säuglingsalter ein vorsprachliches Stadium des Denkens und ein vorintellektuelles Stadium des Sprechens gibt. Das vorsprachliche Stadium des Denkens verglich er mit dem „Werkzeugdenken“ der Schimpansen, das sich dadurch auszeichnet, dass bestimmte Ziele (u.a. durch die Nutzung von Werkzeugen) erreicht werden können, ohne dass hierfür eine sprachliche Repräsentation von Ziel und Werkzeug vonnöten ist. Das vorintellektuelle Stadium des Sprechens tritt gleichzeitig mit dem vorsprachlichen Stadium des Denkens auf und ist durch Schreien und Lallen charakterisiert. Beide Stadien sind zunächst nicht miteinander verbunden. Durch das Leben in einer sozialen Gemeinschaft werden dann das Denken und das Sprechen um das 2. Lebensjahr herum zunehmend verbunden und das Denken wird versprachlicht.

Eine besondere Rolle bei der Versprachlichung des Denkens spielt nach Wygotsky (1969) der Erwerb der inneren Sprache. Wygotsky nahm an, dass Eltern das Verhalten eines Kindes zunächst sprechend regulieren. Über Nachahmungsprozesse versucht dann das Kind, sein Verhalten eigenständig in ähnlicher Weise über die Sprache zu regulieren. Diese Selbstregulation über das Sprechen ist zunächst laut hörbar und wird allmählich verinnerlicht. Die Verinnerlichung erfolgt aufgrund eines Funktionswechsels der Sprache: Während die Sprache zunächst eine ausschließlich kommunikative Funktion innehat, wird sie zunehmend zur Beschreibung, Unterstützung und Regulierung von Denkprozessen genutzt.

Wygotsky nahm folglich an, dass das egozentrische Sprechen dem sozialen Sprechen folgt und einen Übergangszustand zum verinnerlichten Sprechen darstellt: „Die Entwicklung des kindlichen Denkens verläuft nicht vom Individuellen zum Sozialisierten, sondern vom Sozialen zum Individuellen“ (Wygotsky, 1969, S. 44). Diese These widersprach der Annahme Piagets, für den das egozentrische Sprechen ein Vorläufer zum sozialen Sprechen darstellte (vgl. Kapitel 1.2.1.2; Piaget, 1972a; Piaget & Inhelder, 1972). Ebenso widersprachen sich Wygotsky und Piaget hinsichtlich ihrer Grundannahmen zum Ursprung der Sprachentwicklung. Piaget ging davon aus, dass die Sprache auf den Erwerb der semiotischen Funktion zurückgeht und anschließend die Entwicklung des Denkens unterstützt (Piaget & Inhelder, 1972). Sprache ist folglich nicht der Ursprung des logischen Denkens, sondern wird durch den Erwerb logischer Strukturen möglich (Piaget & Inhelder, 1972; Piaget & Inhelder, 1973a). Wygotsky (1969) dagegen betrachtete die Sprache als ein zunehmend verinnerlichtes Lernprodukt aus der sozialen Interaktion, das sich parallel zur Entwicklung logischer Strukturen ausbildet und anschließend mit ihnen verwoben wird.

Aus der Annahme, dass das Verhalten von Kindern zunächst durch andere Menschen reguliert wird, bevor es zu einer Verinnerlichung äußerer Regulationen kommt, leitete Wygotsky (1987) das Konzept der „Zone der proximalen Entwicklung“ ab. Die Zone der proximalen Entwicklung ist oberhalb des aktuellen Entwicklungsniveaus des Kindes angesiedelt und bezeichnet die Kompetenz, die sich das Kind als nächstes aneignen wird (Wygotsky, 1969). Das Aneignen der neuen Kompetenz benötigt zunächst Unterstützung von außen. Die Zone der proximalen Entwicklung ist also immer der noch nicht erworbene Kompetenzbereich, für dessen Erwerb das Kind ein (explizit oder implizit) instruierendes Gegenüber benötigt. Wygotsky hielt die Zone der proximalen Entwicklung für wichtiger für die Kompetenzentwicklung als das aktuelle Entwicklungsniveau. Die Pädagogik muss sich nach diesem Konzept nicht auf den aktuellen kindlichen Entwicklungsstand beziehen, sondern auf den nächsten zu erreichenden Entwicklungsschritt. Guter Unterricht muss demzufolge dem Entwicklungsstand immer einen Schritt voraus sein, denn dadurch werden „die Funktionen, die sich im Stadium der Reifung befinden und in der Zone der nächsten Entwicklung liegen, geweckt und ins Leben gerufen“ (Wygotsky, 1969, S. 242).

Sowohl Wygotsky als auch spätere Vertreter dieses Ansatzes beschrieben die Neigung, anderen etwas beibringen zu wollen, als kulturübergreifende, eigens menschliche Eigenschaft, durch die entwicklungsbedingte Veränderungen kognitiver Strukturen zustande kommen können. Insbesondere Tomasello (2006) entwickelte das Konzept der Zone der proximalen Entwicklung weiter und betrachtete die kognitiven Fähigkeiten des Menschen weitestgehend als das Ergebnis einer einzigartigen generationenübergreifenden kulturellen Weitergabe. Diese kulturelle Weitergabe erfolgt über die Mechanismen des Imitationslernens, des Lernens durch Unterricht und des Lernens durch Zusammenarbeit (Tomasello, 2006). Die kulturelle Weitergabe wird ermöglicht durch die den Menschen einzigartige Fähigkeit, ihre Artgenossen als ihnen ähnliche Wesen zu verstehen, die ein intentionales und geistiges Leben ähnlich dem eigenen haben (Tomasello, 2006). Tomasello sieht folglich die Fähigkeit, sich in die geistige Welt eines anderen hineinversetzen zu können, als die für kulturelle Evolution entscheidende Kompetenz an. Diese These belegte er mit Befunden aus der Primatenforschung, denen zufolge Menschen sich mit ihren Artgenossen tiefer identifizieren können als andere Primaten. Andere Primaten haben zwar ebenfalls ein Verständnis von sozialen Beziehungen, aber sie verstehen die Welt nicht in intentionalen und kausalen Begriffen. Menschen dagegen besitzen eine biologisch angelegte Fähigkeit zum Verstehen von Artgenossen als intentionale Akteure, die sich etwa ab dem Alter von neun bis zwölf Monaten deutlich zeigt. Ab diesem Alter zeigen Kinder Anzeichen von gemeinsamer Aufmerksamkeit. Der Spracherwerb erfolgt gemäß Tomasello durch Imitationslernen und führt wiederum zur Fähigkeit, verschiedene Perspektiven auf einen

Gegenstand einzunehmen. Da es möglich ist, Situationen unterschiedlich wahrzunehmen und zu kategorisieren, sind sprachliche Symbole nötig, um eine Situation so zu beschreiben, dass das Gegenüber die eigene Wahrnehmung versteht.

Im Laufe des Spracherwerbs sind Kinder zunehmend dazu in der Lage, mit anderen an einem gemeinsamen Gespräch teilzunehmen (Tomasello, 2006). Auf diesem Weg erlangen sie durch die Konfrontation mit Meinungsverschiedenheiten, Missverständnissen oder ähnlichen uneindeutigen Situationen zunehmend ein Verständnis dafür, dass andere Personen Überzeugungen über die Welt haben, die sich von ihren eigenen unterscheiden (Tomasello, 2006). Tomasello (2006) geht in diesem Zusammenhang auf den Ansatz der Modularitätstheorien (vgl. Kapitel I.2.2) ein und hinterfragt, wie viele und welche Module die kognitive Entwicklung erklären sollen und wie sie zweifelsfrei identifiziert werden können. Statt dessen schlägt er vor, dass es nicht mehrere, sondern eine größere biologische Anpassung im Laufe der Evolution gegeben habe könnte, die einzig im Verständnis anderer als intentionale Wesen besteht.

Tomasello (2006) bezieht diese gemäß seiner Theorie einzige größere biologische Anpassung auch auf die Fähigkeit zum wissenschaftlichen Denken. Er nimmt an, dass die evolutionären Anpassungen, die sich auf die Fähigkeit von Menschen beziehen, ihr Sozialverhalten aufeinander abzustimmen, ebenso der Fähigkeit von Menschen zugrunde liegen, ihr eigenes Verhalten zu reflektieren. Das Verständnis anderer als intentionale Wesen sowie die Sprache führen dazu, dass eine koordinierte Abstimmung unterschiedlicher Interpretationen der Realität möglich wird. Dies wiederum ermöglicht die Entstehung systematischer Strukturen expliziten Wissens, das anderen Menschen mitgeteilt und über das diskutiert werden kann. Diese Strukturen expliziten Wissens können beispielsweise wissenschaftliche Theorien sein (Tomasello, 2006).

### 3. Bereichsspezifisches und bereichsübergreifendes wissenschaftliches Denken

---

Die Theorie Piagets, die Theorien des Kernwissens und die Informationsverarbeitungstheorien wurden von vielen Autoren den Kategorien *bereichsübergreifende* und *bereichsspezifische Theorien* der kognitiven Entwicklung zugeordnet. Die Theorie Piagets und die Theorien der Informationsverarbeitung wurden als bereichsübergreifende Theorien bezeichnet (Sodian, 2002), da eine der Grundannahmen dieser Ansätze besagt, dass das kindliche Denken und seine Entwicklung durch Strukturen beeinflusst wird, die sich in ähnlicher Form in verschiedenen Inhaltsbereichen zeigen und dort über alle Inhaltsbereiche hinweg Veränderungen bewirken. Die Theorien des Kernwissens wurden bereichsspezifische Ansätze genannt, weil die Vertreter dieser

Theorien annehmen, dass das begriffliche Wissen innerhalb bestimmter Inhaltsbereiche und die Veränderungen dieses Wissens die Grundlage kognitiver Entwicklung darstellen (Sodian, 2002).

Bei näherer Betrachtung der Ansätze in Bezug auf ihre Annahmen zu den Entwicklungsmechanismen lässt sich diese Unterteilung in bereichsübergreifende und bereichsspezifische Theorien in ihrer bisherigen Form nicht aufrecht erhalten. Die Theorie Piagets kann am eindeutigsten als bereichsübergreifender Ansatz bezeichnet werden, da Piaget in seiner Theorie klar davon ausging, dass die Mechanismen der Assimilation, der Akkomodation und der Äquilibration die Entwicklung in verschiedensten Inhaltsbereichen vorantreiben (vgl. Kapitel I.2.1.1). Derzeit sprechen allerdings zunehmend auch Kernwissenstheoretiker bereichsübergreifenden Mechanismen einen Einfluss auf den Prozess der Veränderungen intuitiver Theorien zu. Hierbei unterscheiden sich die Ansätze innerhalb der Kernwissenstheorien. Während Modularitätstheoretiker von rein bereichsspezifischen Informationsverarbeitungssystemen im Gehirn ausgehen (z.B. Chomsky, 1988), wird in den Modellen des Expertiseerwerbs sowohl der Einfluss bereichsübergreifender Informationsverarbeitungsfähigkeiten als auch der Einfluss des bereichsspezifischen Inputs beschrieben (vgl. Kapitel I.2.2; z.B. Wellman & Gelman, 1998). Wellman und Gelman (1988) argumentierten, dass die Modelle des Expertiseerwerbs stärker bereichsübergreifend als bereichsspezifisch ausgerichtet sind, da übergreifende Prozesse wie die Entwicklung der Informationsverarbeitungskapazitäten und die Kapazitäten des Gedächtnisses als entscheidend für die Veränderungen intuitiver Theorien angesehen werden. Die Annahmen von Theorie-Theoretikern zu den Veränderungsmechanismen intuitiver Theorien ähneln bei näherer Betrachtung stark den Annahmen Piagets. Theorie-Theoretiker argumentierten, dass neue Erkenntnisse zunächst innerhalb der bestehenden intuitiven Theorie interpretiert werden (Carey, 1985). Als Motor der Veränderung wird die Auseinandersetzung mit theoretischen Anomalitäten angenommen, die zunächst ignoriert werden, aber über längere Zeit durch den Vergleich der aktuellen intuitiven Theorie mit den Erfahrungen, die das Kind in der Auseinandersetzung mit der Umwelt gewinnt, zu qualitativ neuartigen Theorien führen (Brewer & Samarapungavan, 1991; Wellman & Gelman, 1998). Diese Annahme ähnelt der Annahme Piagets zum Ablauf von Äquilibrationsprozessen (vgl. Kapitel I.2.1.1). Im Bereich der Informationsverarbeitungstheorien betonen einige Vertreter den Einfluss bereichsübergreifender Strukturen (z.B. Case, 1999), während andere den Einfluss von Informationsverarbeitungsmechanismen auf die Veränderungen kognitiver Fähigkeiten innerhalb bestimmter Inhaltsbereiche fokussieren (z.B. Zelazo & Frye, 1998).

Zusammengefasst zeigen diese Betrachtungen, dass sich die Annahmen der theoretischen Ansätze hinsichtlich der Veränderungsmechanismen, die für bedeutsam für die

kognitive Entwicklung gehalten wurden, angenähert haben. Ähnlich wie in der Theorie Piagets werden zunehmend bereichsübergreifende Mechanismen fokussiert, wobei in neueren Theorien eher von Veränderungen in der Informationsverarbeitungskapazität ausgegangen wird als von der Veränderung logischer Strukturen. Diese zunehmende Ähnlichkeit der theoretischen Ansätze in Bezug auf Entwicklungs*mechanismen* soll nicht darüber hinwegtäuschen, dass sich die Grundannahmen der Theorien hinsichtlich der Bedeutsamkeit bereichsübergreifender Prozesse bzw. bereichsspezifischer Inhalte deutlich unterscheiden.

Die durch Piagets Theorie entstandene Metapher des „Kindes als Wissenschaftler“ wurde insbesondere durch die Vertreter der Theorien des Kernwissens aufgegriffen. Piaget verglich zwar die Tätigkeiten von Kindern jeden Alters, die ihnen zum Erkenntnisgewinn dienen, mit den Forschungstätigkeiten von Wissenschaftlern (Piaget 1981), unterschied aber klar zwischen den schon früh auftretenden „Experimenten, um zu sehen“ und dem formalen wissenschaftlichen Denken, dessen Auftreten er mit dem Erwerb der formal-operatorischen Denkstrukturen auf den Altersbereich der beginnenden Adoleszenz datierte (vgl. Kapitel I.2.1.3; Piaget & Inhelder, 1977). Demgegenüber zeigten Vertreter der Kernwissenstheorien, dass schon jüngere Kinder Theorien innerhalb wichtiger Domänen aufstellen, die grundsätzlich die Kriterien wissenschaftlicher Theorien erfüllen, und argumentierten, dass die Annahme Piagets, das formale wissenschaftliche Denken trete erst zu Beginn der Adoleszenz auf, nicht zutrifft (Carey, 1985). Möglicherweise gehen diese unterschiedlichen Einschätzungen auf unterschiedliche normative Vorstellungen dazu zurück, was genau formales und damit „gutes“ oder ausgereiftes wissenschaftliches Denken ist. Piaget schien unter formalem wissenschaftlichem Denken vor allem die Fähigkeit, kontrollierte Experimente zu konstruieren, verstanden zu haben. Die Vertreter der Kernwissenstheorien hielten die Theoriebildung, die die Kriterien der inhaltlichen Plausibilität und des Vorhandenseins kausaler Erklärungen und Definitionen für Konzepte erfüllten, für entscheidend. Hieraus resultierten unterschiedliche Versuchsanordnungen, die zur Erfassung wissenschaftlicher Denkfähigkeiten herangezogen wurden. Während Piaget sich auf die Erfassung von wissenschaftlichen Schlussfolgerungsprozessen konzentrierte, zu denen die Interpretation von Experimenten vor dem Hintergrund bestimmter Hypothesen gehörte, zielten die Versuchsanordnungen von Kernwissenstheoretikern auf die Erfassung naiver Theorien ab. Piaget fokussierte die experimentelle wissenschaftliche Methodik, während die Kernwissenstheoretiker die Theoriebildung betrachteten. Beide Ansätze, und damit auch die Antworten beider Ansätze auf die Frage, ob und ab welchem Alter Kindern Fähigkeiten als kleine Wissenschaftler zugeschrieben werden können, scheinen daher nicht unmittelbar vergleichbar zu sein (vgl. Kapitel VII.1.1.2).

Möglicherweise aufgrund der nicht unmittelbar gegebenen Vergleichbarkeit der Untersuchungsmethoden und der unterschiedlichen Annahmen dazu, was „gutes“ wissenschaftliches Denken ausmacht, unterscheiden derzeit einige Autoren, die sich mit der Frage beschäftigen, ob Kinder als kleine Wissenschaftler bezeichnet werden können, nicht mehr in erster Linie die *Theorien* zur kognitiven Entwicklung hinsichtlich der Kategorien bereichsspezifisch und bereichsübergreifend. Stattdessen wird (implizit oder explizit) von der Untersuchung des bereichsspezifischen oder des bereichsübergreifenden wissenschaftlichen *Denkens* gesprochen (z.B. Koerber, 2006; Sodian, 1998; Zimmerman, 2005). Die Dichotomie bereichsspezifisch/ bereichsübergreifend wird damit nicht mehr ausschließlich zur Kennzeichnung von Theorien genutzt, sondern auch zur Charakterisierung von Untersuchungsgegenständen. Unter *bereichsspezifischem wissenschaftlichem Denken* wird das inhaltsbezogene Wissen über bestimmte naturwissenschaftliche Phänomene verstanden, während mit *bereichsübergreifendem wissenschaftlichem Denken* die Fähigkeit zur Anwendung und das Verständnis für die Methoden des Erkenntnisgewinns gemeint ist (Zimmerman, 2005). Das wissenschaftliche Denken von Kindern wurde in Folge der Auseinandersetzung mit der Metapher „Kind als Wissenschaftler“ zunehmend als eigenständige kognitive Kompetenz betrachtet, die sich in zwei Subkompetenzbereiche (Erwerb von Inhaltswissen und Erwerb von methodischen Fähigkeiten) aufteilen lässt. Diese Subkompetenzbereiche werden derzeit weitgehend losgelöst von allgemeinen theoretischen Ansätzen zur kognitiven Entwicklung betrachtet und empirisch untersucht.

Diese neue Sichtweise wurde auf empirischer Seite insbesondere durch eine Versuchsreihe von Kuhn, Amsel und O' Loughlin (1988) geprägt. Kuhn et al. interessierten sich in besonderem Maße für die Methoden, die Kinder zur Weiterentwicklung ihrer Theorien nutzen, und fokussierten einen grundlegenden Aspekt wissenschaftlicher Denkprozesse: Die Fähigkeit zur Koordination von Theorien und Evidenzen. Die Autorinnen untersuchten Kinder ab der dritten Klasse sowie Erwachsene mit unterschiedlichen Versuchsanordnungen. Beispielhaft wird im Folgenden das „Schnupfen“- Paradigma dargestellt (Kuhn et al., 1988, S. 38ff.). Den kindlichen und erwachsenen Versuchspersonen wurde erzählt, dass Wissenschaftler untersucht hätten, durch welche Lebensmittel Kinder Schnupfen bekommen. Es wurden Bilder von Kindern präsentiert, die sich mit einem Taschentuch schnäuzten, und Bilder von Kindern mit lachenden Gesichtern. Die Bilder wurden in Kombination mit Bildern von zwei Getränken gezeigt (z.B. Cola und Orangensaft). Hierbei kovariierten die Ausprägungen der Gesichter auf den Kinderbildern (schnäuzend und lachend) mit den Ausprägungen auf den Getränkebildern (Cola und Orangensaft) in unterschiedlichem Ausmaß (perfekte Kovariation, nicht-perfekte Kovariation, keine Kovariation). Die Aufgabe

der Versuchspersonen bestand darin zu entscheiden, ob die Ergebnisse der Wissenschaftler, die durch die Bilder symbolisiert wurden, zeigten, dass ein bestimmtes Getränk einen Einfluss auf das Vorkommen von Schnupfen hat, ob es keinen Einfluss hat, und ob sich die Versuchsperson unsicher ist. Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass Kinder etwa ab der sechsten Klasse Entscheidungen trafen, die sich ausschließlich auf den dargestellten Zusammenhang zwischen Getränk und Krankheit/ Gesundheit bezogen (laut Kuhn et al., 1988, „evidenzbasierte“ Entscheidungen). Jüngeren Kindern, aber auch vielen Erwachsenen fiel es schwer, solche rein evidenzbasierten Entscheidungen zu treffen, insbesondere dann, wenn sie ihren subjektiven Theorien widersprachen. Dies war der Fall, wenn der Orangensaft durchgängig in Kombination mit den schnäuzenden Kindern und die Cola durchgängig in Kombination mit den lachenden Kindern abgebildet worden waren (perfekte Kovariation entgegen der subjektiven Krankheitstheorie vieler Versuchspersonen). In diesem Fall bewerteten viele der Versuchspersonen nicht allein die Evidenzen, sondern verließen sich trotz eindeutiger Evidenz gegen ihre Vorannahme auf ihre eigene subjektive Krankheitstheorie. Kuhn et al. analysierten zusätzlich die Aussagen, mit denen die Versuchspersonen ihre Entscheidungen begründeten. Diese Analysen ergaben, dass sich bei den Versuchspersonen Überzeugung und Evidenz „into a single representation of "the way things are"...“ (Kuhn, 1989, S. 679) vermischten, wenn die vorher bestehende Überzeugung mit den Evidenzen übereinstimmte.

Kuhn et al. (1988) schlossen aus ihren Versuchen, dass die meisten Kinder im Grundschulalter, aber auch viele Erwachsene nicht präzise zwischen Theorien und Evidenzen unterscheiden können. Die Autorinnen argumentierten ferner, dass es bei der Erforschung des wissenschaftlichen Denkens sehr bedeutsam sei, zwischen Ansätzen, die die Inhalte kindlicher Theorien fokussieren, und Ansätzen, die das kindliche Denken über Theorien und Evidenzen und damit über Methoden des Erkenntnisgewinns untersuchen, zu unterscheiden. Damit begründeten und bekräftigten Kuhn et al. die neue Definition des wissenschaftlichen Denkens in zwei Subkompetenzbereiche (s. oben). Betrachte man das bereichsübergreifende wissenschaftliche Denken von Kindern, dann sei „the metaphor of the child as a scientist [...] fundamentally misleading“ (Kuhn, 1989, S. 687).

Kuhn et al. (1988) trugen mit ihrer Versuchsreihe dazu bei, die Metapher vom „Kind als Wissenschaftler“ weiter auszudifferenzieren. Nach den Ergebnissen der Autorinnen schien die Metapher dann keine Gültigkeit zu besitzen, wenn man das kindliche Verständnis für die Koordination von Theorien und Evidenzen betrachtet. Gemäß den Ergebnissen der Autorinnen schienen zunächst die Ergebnisse Piagets mit Hilfe einer deutlich einfacheren Versuchsanordnung (vgl. das „Schnupfen“- Paradigma mit dem Pendelversuch Piagets, Kapitel I. 2.1.1) bestätigt worden zu sein.

Die Befunde Kuhn et al.'s (1988) blieben allerdings nicht unwidersprochen. Insbesondere das Versuchsmaterial der Autorinnen geriet in die Kritik. Koslowski (1996) kritisierte die Schlussfolgerung Kuhn et al.'s, dass die Versuchspersonen unwissenschaftlich geantwortet hätten, in dem sie eher ihren subjektiven Theorien als den Evidenzen trauten. Koslowski argumentierte, dass eine aus Sicht von Kuhn et al. korrekte Antwort dann gegeben worden sei, wenn das eigene Vorwissen zu Plausibilität und kausalen Mechanismen zwischen Ursache und Effekt zugunsten von korrelativen Daten verworfen wird. Beispielsweise wurde die oben beschriebene „Schnupfen“- Aufgabe dann richtig gelöst, wenn das Vorwissen über gesundheitlich relevante Eigenschaften verschiedener Getränke von den Versuchspersonen nicht beachtet und ausschließlich korrelative Evidenzen betrachtet wurden. Dies sei zum einen methodologisch falsch, da aus Korrelationen keine kausalen Schlüsse gezogen werden dürfen, zum anderen entspreche ein solches Vorgehen nicht der Art und Weise, wie Wissenschaftler in der Praxis forschen. Wissenschaftler seien, so Koslowski, an kausalen Mechanismen innerhalb ihrer Disziplinen interessiert. Theorien über kausale Mechanismen würden wiederum bestimmen, welche Korrelationen von Wissenschaftlern als bedeutsam angesehen werden und welche als Artefakt. Das Versuchsmaterial von Kuhn et al. (1988) sei daher ungeeignet zur Erfassung kindlicher Fähigkeiten zur Koordination von Theorien und Evidenzen, da es verständlich und rechtfertigbar sei, sich auf das theoriebasierte eigene Vorwissen zu verlassen und Evidenzen unberücksichtigt zu lassen, die nicht der eigenen subjektiven Theorie entsprechen.

Koslowski (1996) verdeutlichte damit zum einen eine andere, stärker theoriegeleitete normative Vorstellung davon, worin wissenschaftliches Denken besteht. Zum anderen arbeitete die Autorin das Problem der Vorwissensabhängigkeit heraus, das sich bei der Untersuchung des bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denkens stellt. Wenn versucht wird, ausschließlich die kindlichen Methoden des Erkenntnisgewinns zu erfassen, stellt das inhaltliche Vorwissen eine Art Störvariable dar, deren Einfluss entweder kontrolliert oder ausgeschaltet werden muss. Ansonsten würde eine Konfundierung von Vorwissen und Erkenntnismethode vorliegen, so dass die Leistung eines Kindes bei einer experimentellen Aufgabe nicht eindeutig darauf zurückgeführt werden kann, dass es eine bestimmte Methode des Erkenntnisgewinns genutzt hat. Eine solche Konfundierung lag beim „Schnupfen“-Paradigma von Kuhn et al. (1988) vor, da die Kinder und Erwachsenen sowohl aufgrund ihres Vorwissens als auch auf Basis der vorgelegten Evidenzen begründbare Schlussfolgerungen zogen.

Piagets Nachfolger (z.B. Siegler & Liebert, 1975; Wason, 1960) und Vertreter des Informationsverarbeitungsansatzes (z.B. Case, 1999) lösten dieses Problem mittels abstrakter Versuchsmaterialien und schalteten hierdurch den Einfluss des Vorwissens aus.

Diese Vorgehensweise hat den Nachteil, dass abstraktes Versuchsmaterial wie geometrische Figuren für Kinder wenig ansprechend und die Instruktionen häufig unverständlich waren. Die Aufgaben von Kuhn et al. (1988) hatten den Vorteil, dass sie sowohl von Kindern als auch von Erwachsenen verstanden wurden. Kuhn et al. betteten die Aufgabe, Theorien und Evidenzen zu koordinieren, in eine sinnvolle Geschichte mit einer inhärenten Logik ein. Diese Idee zur Gestaltung von Aufgaben wurde von weiteren Autoren aufgegriffen, so dass derzeit eine Aufgabe zur Erfassung des bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denkens bei Kindern als gelungen angesehen wird, wenn sie nur vorwissensunabhängig gelöst werden kann (und damit das Problem der Konfundierung von Vorwissen und Methode des Erkenntnisgewinns umgeht), und gleichzeitig eine für Kinder verständliche und ansprechende Geschichte beinhaltet, deren inhärenter Logik sie folgen können. Diesen Ansatz verfolgten im damaligen und weiteren Forschungsverlauf z.B. Sodian, Zaitchik und Carey (1991), Ruffman, Perner, Olson und Doherty (1993) und Koerber, Sodian, Thoermer und Nett (2005).

Der Ansatz von Kuhn et al. (1988), die Koordination von Theorien und Evidenzen als grundlegende Fähigkeit des wissenschaftlichen Denkens zu definieren und zu untersuchen, wurde von Klahr und Dunbar (1988) aufgegriffen. Im Kontrast zur Auseinanderentwicklung des bereichsspezifischen und bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denkens in zwei Subkompetenzbereiche nahmen diese Autoren eine integrative Perspektive auf die Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens ein. Klahr und Dunbar (1988) sowie Schauble (1990, 1996) sprachen der Interaktion von bereichsspezifischem und bereichsübergreifendem wissenschaftlichen Denken die wichtigste Rolle im wissenschaftlichen Erkenntnisprozess zu. Mit Hilfe mikrogenetischer Studien, bei denen wissenschaftliche Entdeckungen simuliert wurden, wurden erwachsene und kindliche Versuchspersonen systematisch im Verlauf ihrer Erkenntnisprozesse beobachtet und zu ihren Denkprozessen befragt (Klahr & Dunbar, 1988; Kuhn, Schauble & Garcia-Mila, 1992; Schauble, 1990, 1996). Aus diesem integrativen Ansatz heraus entstand das *Scientific Discovery as Dual Search (SDDS)*-Modell (Klahr & Dunbar, 1988; Klahr, 2000). Im folgenden Kapitel wird zunächst das SDDS-Modell näher beschrieben, die Hintergründe zur Entstehung des Modells erläutert und der derzeitige Forschungsstand zur Entwicklung der dort definierten Komponenten des wissenschaftlichen Denkens dargelegt.

#### 4. Das Scientific Discovery as Dual Search – Modell

---

Im *Scientific Discovery as Dual Search (SDDS)*-Modell wird wissenschaftliches Denken als eine Kombination von bereichsübergreifender Strategienutzung und

bereichsspezifischem Wissen betrachtet. Es wurde erstmals von Klahr und Dunbar (1988) formuliert und von Klahr (1994, 2000) erweitert. Das Modell basiert auf den Arbeiten von Vertretern der Theorien der Informationsverarbeitung, in denen wissenschaftliches Denken als Problemlöseanforderung aufgefasst wurde (z. B. Newell & Simon, 1972; Simon & Lea, 1974). Die Idee für das Modell entstand aus mikrogenetischen Studien mit dem Roboter „Big Trak“ (Klahr, 2000). In diesen Studien sollten zunächst Erwachsene, in späteren Studien auch kindliche Versuchspersonen herausfinden, welche Funktion eine bestimmte Steuerungstaste des Roboters hatte. Die Versuchspersonen wurden während ihrer Versuche, diese Aufgabe zu lösen, zu ihren Gedanken und Ideen befragt und sollten begründen, wie sie zu diesen Ideen gekommen sind. Die Ergebnisse legten die Komponenten des SDDS-Modells nahe, die im Folgenden dargestellt werden.

Das wissenschaftliche Denken wird im SDDS-Modell als heuristischer Suchprozess in zwei Problemräumen, dem Hypothesenraum und dem Experimentierraum, beschrieben. Innerhalb dieser beiden Problemräume zeigen sich die gemäß Klahr und Dunbar (1988) und Klahr (2002) wichtigsten Kompetenzen eines Wissenschaftlers: Das Wissen, wo und wie man nach Evidenzen suchen kann (im Experimentierraum), und die Fähigkeit, diese in Bezug auf Hypothesen zu interpretieren (im Hypothesenraum). Das Ziel eines wissenschaftlichen Erkenntnisprozesses liegt gemäß Klahr (1994, 2000) in der Formulierung einer Hypothese oder Theorie, die möglichst viele Evidenzen aus der Umwelt möglichst stringent erklären kann. Hierzu ist es nötig, mit Hilfe methodologischer Kenntnisse die heuristische Suche innerhalb von Hypothesen- und Experimentierraum sowie zwischen Hypothesenraum und Experimentierraum zu koordinieren.

In der ursprünglichen Fassung des SDDS-Modells (Klahr & Dunbar, 1988) wurde hauptsächlich auf diese beiden Problemräume eingegangen. Zusätzlich wurde die Bewertung von Evidenzen als weitere Komponente erwähnt, aber nicht näher ausgeführt. In späteren Fassungen (Klahr, Fay & Dunbar, 1993; Klahr, 2000; Klahr & Carver, 1995) wurde betont, dass das wissenschaftliche Denken aus drei kognitiven Komponenten besteht. Die Bewertung von Evidenzen wurde den anderen beiden Komponenten (Suche im Hypothesenraum und Experimentierraum) gleichgestellt. Insgesamt wird daher in den späteren Versionen des SDDS-Modells der wissenschaftliche Erkenntnisprozess auf kognitiver Ebene als zyklischer Prozess aufgefasst und drei kognitive Komponenten wie folgt definiert (Klahr, 1994, 2000, 2005): Der *Generierung von Hypothesen* im Hypothesenraum anhand von (bereichsspezifischem) Vorwissen oder (bereichsübergreifenden) induktiven Schlussfolgerungsprozessen folgt die Suche nach und Durchführung von einem geeigneten, möglichst konklusiven *Experiment* zur Prüfung der Hypothesen, und abschließend die *Evaluation von Evidenzen* im Hinblick auf deren Bedeutung für die zu Beginn aufgestellte(n)

Hypothese(n). Eine Reihe weiterer sehr spezifischer Unterkomponenten wurden von Klahr und Dunbar (1988) zusätzlich aufgeführt, auf die hier jedoch nicht näher eingegangen werden soll.

Klahr und Dunbar (1988) machten bereits in ihrer ersten Fassung des SDDS-Modells deutlich, dass die drei kognitiven Komponenten nicht als trennscharfe Entitäten zu verstehen sind. Die Suche nach einem geeigneten Experiment wird in der Praxis selten ohne eine bereits generierte Hypothese geschehen. Die Evaluation von Evidenzen wird in der Regel (sofern kein rein exploratives Vorgehen gewählt wurde) vor dem Hintergrund einer Hypothese geschehen. Die Generierung einer Hypothese basiert wiederum zumeist auf bereits beobachteten Evidenzen oder experimentellen Ergebnissen. Dennoch schien die Unterscheidung der drei Komponenten zur Beschreibung des Verhaltens der Versuchspersonen in den von den Autoren durchgeführten mikrogenetischen Studien nützlich zu sein und tatsächliche Phasen des wissenschaftlichen Erkenntnisprozesses zu beschreiben.

Obwohl das SDDS-Modell den wissenschaftlichen Denkprozess aus einer integrativen Perspektive beschrieb und bereichsspezifisches Wissen und bereichsübergreifende Strategienutzung als miteinander verwobene Elemente des wissenschaftlichen Erkenntnisprozesses betrachtete, wurde das Modell in Folge als ordnender Bezugsrahmen für Forschungsergebnisse zum bereichsübergreifenden und bereichsspezifischen wissenschaftlichen Denken getrennt genutzt. Die Ergebnisse der mikrogenetischen Studien von Klahr und Dunbar (1988), Klahr (2000) sowie Schauble (1990, 1996) zeigten, dass es nicht nur Kindern, sondern auch Jugendlichen und Erwachsenen schwerfällt, Hypothesen anhand von Experimenten zu überprüfen und die Ergebnisse der Experimente anschließend zu interpretieren. Die umfassende Untersuchung eines *gesamten* wissenschaftlichen Erkenntnisprozesses schien daher insbesondere für die Erfassung basaler Kompetenzen im wissenschaftlichen Denken in der frühen Kindheit nicht sinnvoll (Zimmerman, 2005). Die Unterteilung des komplexen wissenschaftlichen Erkenntnisprozesses in drei kognitive Komponenten dagegen wurde von einigen Autoren v.a. hinsichtlich der Frage genutzt, welche wissenschaftlichen Denk- und Schlussfolgerungskompetenzen und Kenntnisse Kinder, Jugendliche und Erwachsene gemäß den Ergebnissen bisheriger Studien aus der gesamten Forschungslandschaft zum wissenschaftlichen Denken haben könnten (z.B. Klahr, 1994, 2000; Zimmerman, 2000, 2005). Es entstand dadurch ein Ordnungsrahmen für die vielen einzelnen Befunde zum wissenschaftlichen Denken im Laufe der gesamten kindlichen Entwicklung (Klahr, 1994; Zimmerman, 2000, 2005, 2007). Dieser Ordnungsrahmen besteht aus sechs Kategorien (bereichsübergreifendes und bereichsspezifisches wissenschaftliches Denken, orthogonal zur fokussierten kognitiven Komponente), in denen Studien gemäß

ihrem Untersuchungsschwerpunkt eingeteilt werden können. Tabelle 1 zeigt diese Kategorien sowie einige repräsentative Publikationen zur jeweiligen Kategorie, die bereits beschrieben wurden oder auf die in den folgenden Kapiteln eingegangen wird.

Tabelle 1: Klahr's (2000) Kategorisierung exemplarischer Studien zu den kognitiven Komponenten des SDDS-Modells

Forschungsstrang	Kognitive Komponente		
	Hypothesengenerierung	Experimentieren	Evidenzevaluation
Bereichsspezifisch	Carey (1985)	Tschirgi (1980)	Wimmer & Perner (1983)
Bereichsübergreifend	Bruner, Austin & Goodnow (1956)	Sodian, Zaitchik & Carey (1991)	Koerber et al. (2005)

Die Stärke dieses Bezugsrahmens ist darin zu sehen, dass durch eine Einteilung der bisherigen Studien in diese sechs Kategorien ein sinnvoller Vergleich verschiedener Befunde ermöglicht wird. In bisherigen Arbeiten zur Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens wurde meist pauschal von „wissenschaftlichem Denken“ gesprochen, ohne dass explizit darauf Bezug genommen wurde, was die jeweiligen Autoren unter diesem Begriff genau verstanden haben. Der Bezugsrahmen ist allerdings nicht so zu verstehen, dass die aufgeführten Arbeiten sich ausschließlich einer der drei Komponenten widmen. Gemäß Klahr & Dunbar (1988) sind die einzelnen kognitiven Komponenten nicht scharf voneinander trennbar, es liegen fließende Übergänge zwischen allen dreien vor (s. oben). Es wird mit dieser Zuordnung lediglich die hauptsächliche Fokussierung der Studien angegeben.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung des bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denkens in der frühen und mittleren Kindheit. In Kontrast zu den Studien von Klahr und Dunbar (1988), Klahr (2000) und Schauble (1990, 1996) sowie in Anlehnung an die zusammenfassende Darstellung Zimmerman's (2005) wurde bewusst kein integratives Vorgehen unter Berücksichtigung von bereichsspezifischem Wissen und bereichsübergreifender Strategienutzung gewählt, da sich zum einen die Untersuchung eines gesamten wissenschaftlichen Erkenntnisprozesses in diesen Studien als zu schwierig für Kinder herausgestellt hat. Zum anderen zeigten sich insbesondere zu den Fähigkeiten junger Kinder zur Anwendung von bestimmten Methoden des Erkenntnisgewinns Forschungslücken, deren Bearbeitung noch ausstand und Hinweise für ein besseres

Verständnis kindlicher Erkenntnisprozesse versprochen (vgl. Kapitel I.4.4). Im Folgenden wird daher der Forschungsverlauf zur Entwicklung des bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denkens dargestellt. Hierbei werden ausschließlich Studien berücksichtigt, bei denen kindliche Fähigkeiten zur Anwendung von Methoden des Erkenntnisgewinns mit Hilfe von Aufgabenstellungen erfasst wurden, die nicht (auch) unter Verwendung von inhaltlichem Vorwissen gelöst werden konnten (vgl. Kapitel I.3). Das wissenschaftliche Denken wird in Anlehnung an das SDDS-Modell als Zusammenspiel dreier kognitiver Komponenten betrachtet, die trotz ihrer gegenseitigen Verbundenheit zumindest annähernd getrennt voneinander untersuchbar sind. Dementsprechend werden die Studien zum bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denken gemäß ihrem inhaltlichen Schwerpunkt den drei kognitiven Komponenten zugeordnet, so dass sich eine dreigeteilte Darstellung ergibt. Aus der Gesamtbetrachtung der Befunde werden anschließend Forschungslücken aufgezeigt (Kapitel I.4.4), mit denen sich Studie I (Kapitel II) und 2 (Kapitel III) dieser Arbeit befassen.

### 4.1 Forschungsstand zur Fähigkeit zur Hypothesengenerierung

Studien, die sich mit der Entwicklung der Fähigkeit zur Hypothesengenerierung ohne Rückgriff auf Vorwissen auf Grundlage von induktiven Schlussfolgerungsprozessen befassen, sind sehr selten (Zimmerman, 2005, 2007). Ein Beispiel für Studien, die sich mit dieser Komponente beschäftigten, sind die klassischen „reception experiments“ von Bruner, Austin und Goodnow (1956). Bruner et al. entwickelten ein Untersuchungsparadigma, das darin bestand, ein zugrunde liegendes Konzept aus einer Reihe von sukzessiv präsentierten Evidenzen abzuleiten. Es mussten hierbei Hypothesen durch induktives Schlussfolgern aus anfangs uneindeutigen, im Laufe des Versuchs zunehmend eindeutigen Evidenzen abgeleitet werden. Erwachsenen Collegestudenten wurden Karten gezeigt, auf denen geometrische Figuren abgebildet waren, die in Farbe, Form und Anzahl variierten, sowie mit einem oder mehreren Rahmen versehen waren. Sie wurden darüber informiert, dass ihre Aufgabe darin bestand, Konzepte zu entdecken, die aus einer Kombination mehrerer Merkmalsausprägungen bestanden, wie zum Beispiel „Karten mit zwei blauen Kreuzen und drei Rahmenlinien“. Anschließend wurde den Probanden eine Karte nach der anderen gezeigt, wobei die vorher aufgedeckte(n) Karte(n) überdeckt wurden. Der Versuchsleiter teilte zu jeder Karte mit, ob diese ein Beispiel für das gesuchte Konzept darstellte oder nicht. Nach jeder Karte sollten die Probanden ihre Hypothese darüber aufschreiben, durch welche Merkmale das gesuchte Konzept gekennzeichnet sein könnte.

Bruner et al. (1956) analysierten anschließend, welche Hypothese(n) die Probanden nach Vorlage welcher Karte(n) aufgestellt hatten und wie sie ihre Ursprungshypothese an die

immer stärker zunehmende Menge an Evidenzen anpassten. Hierbei konnten zwei dominierende Strategien identifiziert werden, die beide zu einer erfolgreichen Lösung der Aufgabe führen können. Bei der *Scanstrategie* werden anfänglich alle Merkmale der ersten Karte als konzeptdefinierend notiert. Im Laufe der weiteren hinzukommenden Karten werden immer mehr Merkmale ausgeschlossen, sofern die Annahme, dass sie konzeptdefinierend sind, durch die Angaben des Versuchsleiters falsifiziert wird. Bei der *Fokussierstrategie* wird dagegen zunächst ein bestimmtes Merkmal als konzeptdefinierend ausgewählt und genau dann, wenn eine Evidenz vorgelegt wird, die die Hypothese falsifiziert, wieder verworfen. In diesem Fall wird anschließend ein anderes Merkmal als konzeptdefinierend ausgewählt, das mit den bisherigen Evidenzen vereinbar ist. Diese Strategie kann nur dann erfolgreich sein, wenn sich die Versuchspersonen an alle vorherigen Evidenzen erinnern können und nicht versehentlich eine Hypothese annehmen, die durch vorhergehende Evidenzen bereits widerlegt wurde. Die Fokussierstrategie ist daher anfälliger für Gedächtnislücken und seltener erfolgreich als die Scanstrategie. Bruner et al. konnten zeigen, dass die meisten Versuchspersonen die Scanstrategie anwendeten, und viele konsistent bei dieser Strategie blieben. Die Versuchspersonen, die die Fokussierstrategie wählten, verfolgten diese seltener konsequent weiter.

Die Versuchsanordnung von Bruner et al. (1956) wurde anschließend von Wason (1960) aufgegriffen und leicht verändert. Wason argumentierte, dass die Vorgehensweise von Bruner et al. es ermögliche, dass die Versuchspersonen am Ende eines Durchgangs eine ausreichend zutreffende Hypothese generieren, die aber nicht exakt dem gesuchten Konzept entspricht. Beispielsweise könnten die Versuchspersonen die Hypothese „gesucht sind rote Kreise“ generiert haben, während das intendierte Konzept „irgendetwas Rotes“ ist. In diesem Fall würde der Versuchsleiter immer dann, wenn rote Kreise auf der aktuellen Karte abgebildet sind, angeben, dass die Karte ein Beispiel für das gesuchte Konzept darstelle. Die Versuchsperson habe dadurch keine Chance, ihre Hypothese zu falsifizieren, da nur bestätigende Informationen vermittelt werden. Wason entwickelte aus dieser Überlegung heraus die „2-4-6 Aufgabe“, bei der Versuchspersonen Hypothesen dazu generieren mussten, welche Regel sich der Versuchsleiter ausgedacht hat, nach der das Zahlentripel 2-4-6 zusammengestellt worden ist. Zur Überprüfung ihrer Hypothesen sollten die Versuchspersonen weitere Zahlentripel aufschreiben, zu denen der Versuchsleiter anschließend angab, ob es sich um ein Beispiel für die gesuchte Regel handelte oder nicht. Die Ergebnisse zeigten, dass die meisten Versuchspersonen es bevorzugten, bereits aufgestellte Hypothesen zu bestätigen anstatt sie zu falsifizieren. Die Aufgabe war dadurch für viele Versuchspersonen schwer zu lösen, da die Hypothese „die Regel lautet gerade

Zahlen in aufsteigender Reihenfolge“ naheliegend gewesen zu sein scheint, während die gesuchte Regel „drei beliebige Zahlen in aufsteigender Reihenfolge“ lautete.

Sowohl die Arbeiten von Wason (1960) als auch die von Bruner et al. (1956) beziehen sich auf die Kompetenzen erwachsener Versuchspersonen und zeigen, dass das Generieren und Prüfen von Hypothesen ausschließlich anhand von Evidenzen ohne Bezugnahme auf inhaltliches Vorwissen für viele Erwachsene eine große Herausforderung darstellt. Die Kompetenzen von Kindern, Hypothesen durch induktive Schlussfolgerungsprozesse zu generieren, wurde erstmals von Lawson (1993) mit Hilfe der sogenannten „Mellinark-Aufgabe“ untersucht. Die Mellinark-Aufgabe bestand darin herauszufinden, durch welche Merkmale ein Fantasieobjekt namens Mellinark gekennzeichnet ist. Die Ergebnisse von Lawson zeigten, dass Kinder ab dem Alter von etwa 7 Jahren die konzeptdefinierenden Merkmale herausfinden können. Es stellt sich allerdings die Frage, ob die Mellinark-Aufgabe eine geeignete Operationalisierung der Fähigkeit zur Hypothesengenerierung darstellt. In der Mellinark-Aufgabe wurden alle Evidenzen gleichzeitig dargestellt und die Kinder wurden lediglich danach gefragt, ob ein weiteres neues Fantasieobjekt ebenfalls ein Mellinark oder kein Mellinark darstellt. Diese Frage kann anhand von perzeptuellen Ähnlichkeiten zwischen dem neuen Objekt und den bereits dargestellten Mellinarks entschieden werden, ohne dass explizit eine Hypothese über konzeptdefinierende Eigenschaften induktiv generiert worden sein muss. Die Frage, ob tatsächlich anhand von vorliegenden Evidenzen eine oder mehrere Hypothesen generiert wurden, blieb daher unbeantwortet.

In ähnlicher Weise scheinen Studien, die aus dem Bereich der Forschung zur Konzeptentwicklung kommen, zur Beantwortung der Frage nach frühen Hypothesengenerierfähigkeiten unbrauchbar (z.B. Gelman, 1998; Horst, Oakes & Madole, 2005; Kemler & Smith, 1978; Povey & Hill, 1975; Williams & Carnine, 1981; Younger & Mekos, 1992). Diese Studien gehen ebenfalls auf die klassischen Studien von Bruner et al. (1956) zurück. Es wurde untersucht, anhand welcher Merkmale Kinder Objekte in unterschiedliche Gruppen von Objekten kategorisieren. In diesen Studien lag der Schwerpunkt auf der Frage, welche Merkmale hierfür für Kinder salient sind. Die Aufgabe der Kinder bestand meist darin, Objekte zu kategorisieren, wobei nicht danach gefragt wurde, ob die Kinder bestimmte Merkmale bewusst zur Kategorisierung heranziehen oder ob allein aufgrund von Ähnlichkeiten zwischen einzelnen Objekten entschieden wurde.

Aus diesen Gründen scheint die Frage nach der Entwicklung erster basaler Kompetenzen im Bereich der Hypothesengenerierung weitgehend unbeantwortet. In der Literatur scheint bisher kein Versuchsparadigma vorzuliegen, das sich zur Erfassung der Fähigkeit zur Hypothesengenerierung und -prüfung sowohl in der frühen als auch der mittleren Kindheit als geeignet erwiesen hat.

#### 4.2 Forschungsstand zur Fähigkeit zum Experimentieren

---

Studien, die die Komponente des Experimentierens (ohne Rückgriff auf Vorwissen) fokussieren, sind im Gegensatz zu Studien zur Komponente des Hypothesengenerierens wesentlich häufiger. Wie in Kapitel I.2.1.3 beschrieben sah Piaget (1973) erste Anfänge kindlicher Experimentierfähigkeiten schon im Säuglingsalter, grenzte diese frühkindlichen explorativen Verhaltensweisen allerdings klar vom formalen wissenschaftlichen Denken ab. Dieses zeichnet sich nach Piaget (1973) durch ein bewusstes Verständnis für den Zweck von Experimenten als Möglichkeit, Einflussfaktoren auf ein Phänomen zu entdecken, aus und wird erst zu Beginn der Adoleszenz erreicht.

Um zu einer Aussage darüber zu gelangen, ab welchem Alter grundlegende Experimentierfähigkeiten bestehen, muss daher zunächst definiert werden, welche Kompetenz genau als grundlegende Experimentierfähigkeit verstanden wird. Wird angenommen, dass sich basale Experimentierfähigkeiten darin zeigen, dass Kinder gezielt bestimmte Effekte erzielen, um sich über Ursache- Wirkungs- Zusammenhänge klar zu werden, beispielsweise indem sie Gegenstände auf den Boden werfen, um zu beobachten, wie sie auf dem Boden ankommen, wie von Piaget (1973) beschrieben, können basale Experimentierfähigkeiten zweifellos im ersten Lebensjahr nachgewiesen werden (Leslie, 1986). Diese gezielte Beobachtung von Ursache- Wirkungs- Zusammenhängen soll allerdings im Folgenden eher als explorative Verhaltensweisen bezeichnet wird. Wird Experimentieren im engeren Sinne als Methode zur kritischen Prüfung einer oder mehrerer Hypothesen verstanden, dann zeigt sich eine deutlich spätere Entwicklung grundlegender Experimentierfähigkeiten (z.B. Bullock & Ziegler, 1999).

Im Folgenden wird unter einem Experiment eine Versuchsanordnung verstanden, die durch die gezielte Variation einer unabhängigen Variablen bei gleichzeitiger Konstanzhaltung aller bekannten Störvariablen gekennzeichnet ist (Hussy & Jain, 2002). Als basales oder grundlegendes Experimentierverständnis gilt folglich das Verständnis dafür, dass ein Experiment die Variation einer fokalen Variable bei gleichzeitiger Konstanzhaltung möglichst aller weiteren potentiellen Variablen (Anwendung der Variablenkontrollstrategie) erfordert. Ein solches Experiment wird in Anlehnung an Koerber (2006) als „kontrolliertes Experiment“ bezeichnet. Ein Experiment, das eine eindeutige Schlussfolgerung in Bezug auf eine oder mehrere zu prüfende Hypothese(n) zulässt, wird im Folgenden nach Sodian et al. (1991) „konklusives Experiment“ genannt. Ein „kontrastives Experiment“ ist dagegen ein Experiment, bei dem die fokale Variable variiert wird, aber keine gezielte Kontrolle möglicher Störvariablen vorgenommen wird (Bullock & Ziegler, 1999).

Während sich einige frühe Arbeiten zur Entwicklung von Experimentierfähigkeiten stark an den Arbeiten Piagets orientierten und sich ausschließlich auf die Fähigkeit konzentrierten,

die Variablenkontrollstrategie bei der eigenständigen Planung eines Experiments anzuwenden (z.B. Siegler & Liebert, 1975; Tschirgi, 1980), kam es im Verlauf des Forschungsprozesses zur Vereinfachung von Aufgabenstellungen, die Vorläufer des grundlegenden Experimentierverständnisses erfassen sollten. Ein Beispiel für eine solche Aufgabenstellung ist im Rahmen der Münchner Längsschnittstudie LOGIK (Longitudinalstudie zur Genese individueller Kompetenzen) zu finden. In einer Aufgabe zum wissenschaftlichen Denken sollten Kinder prüfen, ob die Manipulation eines Merkmals von Flugzeugen (z.B. Position des Höhenruders in den Ausprägungen hoch oder tief, oder eine spitze oder runde Nase) Effekte auf den Benzinverbrauch hat. Zunächst wurden die Kinder nach eigenen spontanen Ideen für die Erstellung sinnvoller Experimente befragt. In einem zweiten Schritt wurde eine Wahlaufgabe gestellt, in der die Probanden ein Experiment aus mehreren möglichen Experimenten zur Überprüfung der Hypothesen auswählen sollten. Dazu sollten die Kinder aus verschiedenen Bildern, die unterschiedliche Flugzeugvarianten zeigten, diejenigen aussuchen, die sich am besten zur Prüfung der Hypothese eignen (Bullock & Sodian, 2003; Bullock & Ziegler, 1999). Die Ergebnisse zeigten, dass Kinder schon ab der dritten Klasse mehrheitlich kontrastive Experimente produzierten. Nur wenige Kinder erstellen spontan ein kontrolliertes Experiment. Allerdings konnten bereits jüngere Kinder (40% der Drittklässler sowie 65% der Viertklässler) aus den in der Wahlaufgabe vorgegebenen Experimenten dasjenige auswählen, bei dem die Variablenkontrollstrategie berücksichtigt wurde, und ihre Wahl korrekt begründen. Diese Ergebnisse lassen sich so interpretieren, dass sich Defizite von Grundschulkindern beim Verständnis für Experimente hauptsächlich bei der Produktion von kontrollierten Experimenten zeigen, dass aber ein anfängliches Grundverständnis für das Experimentieren schon im Laufe des Grundschulalters besteht und sich durch die Wahl eines kontrollierten Experiments zeigt (Bullock & Sodian, 2003; Bullock & Ziegler, 1999).

Sodian et al. (1991) gelang es, Vorläufer eines basalen Experimentierverständnisses schon zu Beginn der Grundschulzeit zu erfassen. Die Autorinnen konstruierten die „Mausaufgabe“, eine Versuchsanordnung, bei der Kinder zwischen der Herstellung eines gewünschten Effektes und der Prüfung einer Hypothese unterscheiden sollten. Den Kindern wurde eine Geschichte erzählt, in der zwei Brüder sich uneinig sind bezüglich der Frage, ob in ihrem Keller eine kleine oder eine große Maus wohnt. Den Brüdern standen zwei Kartons zur Verfügung, ein Karton mit einer großen, und ein Karton mit einer kleinen Öffnung (Mausehäuser), und etwas Mäusefutter. Die kritische Frage (Experimentierfrage) an die Probanden bezog sich darauf, in welches Haus die Kinder das Futter legen sollten, damit sie später, wenn die Maus gefressen habe, ganz genau wissen, ob es sich um eine kleine oder große Maus handele. Hierbei stellt die Aufstellung des Hauses mit der kleinen Öffnung das

konklusive Experiment dar, das zu einem eindeutig interpretierbaren Ergebnis in Bezug auf die Hypothesen „große oder kleine Maus“ führen soll. Anschließend sollten die Kinder beurteilen, in welches Haus die beiden Brüder das Futter legen sollten, wenn sie sicherstellen möchten, dass die Maus das Futter auf jeden Fall fressen kann (Fütterfrage). Die Experimentierfrage zielt damit auf die Prüfung der Hypothesen mit Hilfe eines konklusiven Experiments ab, das gleichzeitig nicht vereinbar ist mit der Herstellung eines gewünschten Effektes, da bei der Aufstellung des Hauses mit der kleinen Tür die Maus dann nicht an das Futter herankommen wird, wenn sie groß ist. Für die richtige Beantwortung der Experimentierfrage in der Mauseaufgabe muss sich das Kind daher vom salienten Handlungsziel, die Maus füttern zu wollen, lösen und erkennen, dass die Prüfung einer Hypothese ein anderes Vorgehen erfordert als die Herstellung eines gewünschten Effektes. Die Ergebnisse von Sodian et al. zeigten, dass 55% der Erstklässler und 86% der Zweitklässler bei der Beantwortung der Experimentierfrage das Mausehaus mit der kleinen Tür wählten, und bei der Beantwortung der Fütterfrage korrekt angaben, dass das Futter in das Haus mit der großen Tür gelegt werden muss, um die Maus unabhängig von ihrer Größe füttern zu können. Zudem waren die Kinder in der Lage, beide Entscheidungen korrekt zu begründen. In einem zweiten ähnlich gestalteten Experiment zeigten Sodian et al., dass Erstklässler empirische Tests zur Prüfung einer Hypothese vorschlugen, auch wenn diese meist nicht konklusiv konstruiert sind.

Die Ergebnisse von Sodian et al. (1991) wurden in einer Studie von Koerber, Sodian, Kropf, Mayer und Schwippert (2011) repliziert. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass Kinder zu Beginn der Grundschulzeit erkennen, dass die Prüfung einer Hypothese ein anderes Vorgehen verlangt als die Herstellung bestimmter (erwünschter) Effekte. Croker und Buchanan (2011) erweiterten kürzlich das Altersspektrum, in dem kindliche Experimentierfähigkeiten erfasst worden sind, auf das Vorschulalter. Die Autoren untersuchten die Interaktion zwischen bereichsspezifischem Vorwissen und bereichsübergreifenden Experimentierfähigkeiten, in dem sie Kindern im Alter von 4, 6, 8 und 10 Jahren Bilder von Mündern mit gesunden oder schlechten Zähnen (gutes oder schlechtes Ergebnis) vorlegten. Diesen Bildern wurden (systematisch variiert) weitere Bilder zugeordnet, auf denen die Variablen „Zähneputzen/ kein Zähneputzen“, „Zahnarztbesuch/ Kein Zahnarztbesuch“ und „Trinkt Milch/ Trinkt Cola“ abgebildet waren. Vor dem Versuch wurde das Vorwissen der Kinder zu Zahnpflege und Zahnhygiene erfasst, um sicherzustellen, dass die Kinder die Verhaltensweisen Zähneputzen, zum Zahnarzt gehen und Milch trinken als gute Zahnpflege einschätzten (dies war bei allen Kindern der Fall). Den Kindern wurde in einer der Experimentalbedingungen die Geschichte erzählt, dass die Person, deren Mund mit gesunden Zähnen auf dem Bild abgebildet ist, sich immer die Zähne putze, zum Zahnarzt

gehe und Milch trinke (vorwissenskonsistentes, erwünschtes Ergebnis). Die Person glaube, dass ihre gesunden Zähne durch das Milchtrinken zustande gekommen seien (Hypothese). Anschließend bekamen die Kinder drei mögliche Experimente vorgelegt, aus denen sie dasjenige auswählen sollten, das bestätigen kann, was die Person glaubt. Eines der drei Experimente folgte der Variablenkontrollstrategie (im Beispiel: Konstanthaltung der Variablen Zähneputzen und Zahnarztbesuch, Variation des Getränks), eines beinhaltete die Variation der beiden nicht fokalen Variablen (im Beispiel: Zähneputzen und Zahnarztbesuch) und die Konstanthaltung der Variable Milch, und beim dritten Experiment wurden alle Variablen variiert. Die Ergebnisse zeigten, dass es den meisten Kindern leicht fiel, das Experiment, das der Variablenkontrollstrategie folgte, zu wählen, wenn das Ergebnis vorwissenskonsistent und erwünscht war (wie im Beispiel), oder wenn das Ergebnis vorwissensinkonsistent und unerwünscht war (z.B. bei der Variablenkombination „Zähneputzen“, „Zahnarztbesuch“ und „Trinkt Milch“ mit dem Ergebnis „schlechte Zähne“). Dieses Ergebnismuster zeigte sich auch schon bei den vierjährigen Probanden.

In der Studie von Croker und Buchanan (2011) wurde demnach gezeigt, dass schon Vierjährige ein Experiment, das der Variablenkontrollstrategie folgt, in bestimmten Kontexten, die mit ihrem Vorwissen zusammenhängen, unter drei möglichen Experimenten identifizieren können. Die Ergebnisse zeigten damit, dass ein basales Verständnis für das Experimentieren im Vorschulalter vorhanden sein könnte und dann im Verhalten der Kinder sichtbar wird, wenn es mit dem Vorwissen zum Kontext, in dem es abgerufen werden soll, interagiert. Die Studie lässt allerdings offen, ob grundlegende Experimentierfähigkeiten auch dann bereits im Kindergartenalter existieren, wenn zur Lösung der Aufgabe keinerlei Vorwissen genutzt werden kann. Bei der Aufgabe von Croker und Buchanan lag eine bewusste Konfundierung von Vorwissen und Methode des Erkenntnisgewinns vor, um Vorschulkindern die Aufgabe zu erleichtern. Eine Untersuchung basaler Experimentierfähigkeiten im Kindergartenalter, die selbige vorwissensunabhängig erfasst, steht daher noch aus.

### 4.3 Forschungsstand zur Fähigkeit zur Evidenzbewertung

Studien, die die Fähigkeit zur Evidenzbewertung ohne Rückgriff auf Vorwissen fokussierten, haben ihren Ursprung in der Studie von Kuhn et al. (1988; vgl. Kapitel I.3). Die Interpretation ihrer Ergebnisse durch Kuhn et al., dass evidenzbasierte Entscheidungen erst bei Sechstklässlern zu finden seien, wurde aufgrund der in den Aufgabenstellungen vorhandenen Konfundierung von Vorwissen und methodischen Kenntnissen kritisiert (Koslowski, 1996). Amsel und Brock (1996) sowie Tullos und Woolley (2009) bestätigten das Ergebnis von Kuhn et al. (1988), dass die Fähigkeit von Kindern, Evidenzen zu bewerten und

evidenzbasierte Entscheidungen zu treffen, stark davon abhängt, ob die Evidenzen mit ihrem Vorwissen übereinstimmen oder konfliktieren.

Studien, die bei der Aufgabengestaltung konsequent vorwissensunabhängige Szenarien nutzten, stellten die Schlussfolgerung von Kuhn et al., dass junge Kinder keine evidenzbasierten Entscheidungen treffen können und Evidenzen und Theorien vermischen, in Frage. Ruffman et al. (1993) berichteten, dass Studien zur Entwicklung der Theory of mind ergeben hätten, dass Kinder bereits im Alter von vier bis fünf Jahren schlussfolgern können, dass irreführende Evidenzen zu einer falschen Überzeugung über einen Sachverhalt führen können (Perner, 1991; Ruffman, Olson, Ash & Keenan, 1993). Aufgrund dieser Befunde sei es, so die Autoren, nicht einsichtig, warum Kinder in diesem Alter nicht verstehen sollten, dass Evidenzen eine Hypothese beeinflussen können. Vor dem Hintergrund der Theory of mind Forschung entwickelten Ruffman et al. (1993) eine Aufgabe, die klassischen Aufgaben zur Theory of mind (z.B. Wimmer & Perner, 1983) und der „Schnupfen-Aufgabe“ von Kuhn et al. stark ähnelte. Die Autoren legten vier- bis siebenjährigen Kindern Bilder mit 10 Köpfen von Jungen vor. Fünf der Jungen hatten ein vollständiges gesundes Gebiss, bei den übrigen fünf Jungen fehlten Zähne. Rote und grüne Papierschnipsel stellten das „Essen“ der Kinder dar. Der Versuchsleiter kombinierte die Papierschnipsel mit den Bildern der Jungen, wobei die Farbe der Papierschnipsel mit den gesunden/ fehlenden Zähnen perfekt kovarierte. Der Versuchsleiter fragte anschließend die Kinder, was sie glauben, welches Essen zum Zahnverlust führt. Anschließend wurde eine Puppe, Sally, vorgestellt, die zum Spielplatz (unter den Tisch) gehe. Der Versuchsleiter manipulierte daraufhin die Kombination von Papierschnipsel und Jungen in die entgegengesetzte Richtung. Wenn zuvor beispielsweise die roten Papierschnipsel mit den fehlenden Zähnen kombiniert worden waren, wurden nun die grünen Papierschnipsel mit den fehlenden Zähnen kombiniert. Dabei stellte der Versuchsleiter klar, dass er und das Kind wissen, welches Essen *wirklich* die Zähne ausfallen lasse, und dass er nur für Sally das Essen woanders hin lege. Dann wurde Sally unter dem Tisch hervorgeholt und ihr wurde die nun vorliegende Situation gezeigt. Der Versuchsleiter erinnerte das Kind daran, dass Sally nur diese Bilder gesehen habe, und fragte das Kind, was Sally glaube, von welchem Essen die Zähne ausfallen würden. Anschließend wurde das Kind erneut gefragt, was es selbst glaube, von welchem Essen die Zähne ausfallen, um zu ermitteln, ob das Kind die eigene Hypothese aufgrund der veränderten Evidenz ebenfalls verändern würde. Die Ergebnisse zeigten, dass Kinder bereits ab fünf Jahren zwischen Hypothesen und Evidenzen unterscheiden können, da sie Sally aufgrund der gefälschten Evidenzen eine andere Hypothese zuschrieben als sie selbst annahmen. In einem zweiten, sehr ähnlich aufgebauten Experiment wurden fünf- bis

siebenjährigen Kindern zudem nicht perfekt kovariierende Evidenzen vorgelegt. Die meisten sechsjährigen Kinder interpretierten diese Evidenzen zutreffend.

Koerber et al. (2005) konnten die Ergebnisse von Ruffman et al. (1993) weitgehend bestätigen. Die Autorinnen konfrontierten in einem ihrer Experimente vier-, fünf- und sechsjährige Kinder mit Karten, auf denen verschieden farbige Kaugummis mit gesunden oder kranken Zähnen auf Kindergesichtern in unterschiedlichem Ausmaß kovariierten (perfekte, nicht perfekte und nicht vorhandene Kovariation). In einem zweiten Experiment wurden den Kindern Kartensets vorgelegt, die unterschiedliche Kovariationsmuster von Figuren mit gesunder oder geröteter Nase sowie blauem oder rotem Taschentuch zeigten. Mithilfe der vorliegenden Evidenzen sollten die Kinder schlussfolgern, welche Kaugummis die Zähne kaputt machen bzw. von welchem Taschentuch sich die Nase rötet. In beiden Aufgaben wurden Puppen verwendet, und Aufgabe der Kinder war es unter anderem zu beurteilen, wie die Puppen, die nur bestimmte Teile der Evidenzen vorgelegt bekamen, die jeweiligen Zusammenhänge zwischen den Variablen beurteilen würden. Die Ergebnisse zeigten, dass die Kinder in allen drei Altersgruppen Schwierigkeiten mit der Beurteilung der nicht perfekten Kovariation sowie der nicht vorhandenen Kovariation hatten. Dieses Ergebnis wurde ebenso von Kalish (2010) bestätigt, wobei der Autor in dieser Studie berichtete, dass in bestimmten Kontexten die Interpretation nicht perfekt kovariierender Daten auch schon Kindergartenkindern gelingt.

Im Gegensatz zu den Bereichen der Hypothesengenerierung und der Experimentierfähigkeiten gibt es bereits mehrere Studien, die sich mit der bereichsübergreifenden Fähigkeit zur Evidenzbewertung befassen haben. Die Ergebnisse der Studien zeigen, dass die Fähigkeit zur Evidenzbewertung bereits im Kindergartenalter in ihren Grundzügen vorhanden zu sein scheint. Dennoch gibt es bisher nur wenige Studien, die sich mit der Entwicklung der Fähigkeit zur Interpretation nicht perfekter Zusammenhänge oder auch nicht vorhandener Zusammenhänge befassen sowie individuelle längsschnittliche Entwicklungsverläufe aufzeigen.

### 5. Fragestellungen zur Entwicklung des bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denkens

---

Die Ziele der beiden im Folgenden beschriebenen Studien (Kapitel II und III) bestehen darin, zur Beantwortung von noch offenen Fragestellungen zur Beschreibung der Entwicklung des bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denkens beizutragen. Aus den in den Kapiteln I.4.1, I.4.2 und I.4.3 beschriebenen Befunden lassen sich Forschungslücken aufzeigen, die sich auf die drei kognitiven Komponenten des SDDS-Modells im Einzelnen und in ihrer Gesamtheit beziehen.

Im Bereich der Entwicklung der Fähigkeit zur *Hypothesengenerierung* zeigt sich eine empirische Forschungslücke hinsichtlich der Frage, ab welchem Alter induktive Hypothesengenerierfähigkeiten entstehen (vgl. Kapitel 2.3.1). Diese Fragestellung scheint vor allem vor dem Hintergrund dessen interessant, dass schon junge Kinder in Bezug auf bestimmte Inhaltsbereiche Theorien entwickeln, die den Kriterien wissenschaftlicher Theorien genügen (vgl. Kapitel 1.2.2). Dennoch ist unklar, aufgrund welcher kognitiven Prozesse Theorien gebildet und Hypothesen aus ihnen abgeleitet werden. Hierzu könnten durch die Entwicklung und Verwendung eines vorwissensfreien Untersuchungsparadigmas zum Hypothesengenerieren neue Impulse und Ideen gewonnen werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde daher zunächst eine Aufgabe zur Erfassung der bereichsübergreifenden Hypothesengenerierfähigkeit, die Fantasietieraufgabe, entwickelt, die sich konzeptuell stark an der Aufgabe von Bruner et al. (1956) orientiert. In Anhang A und B sind die vollständigen Instruktionen, die Protokollierung und das Material aufgeführt. Bei der Aufgabenerstellung wurde besonders darauf geachtet, dass die Aufgabe nicht aufgrund von Vorwissen gelöst werden konnte. Ebenso wurde der Ansatz von Sodian et al. (1991), Ruffman et al. (1993) und Koerber et al. (2005) beibehalten, der darin bestand, Aufgaben zum bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denken so zu konstruieren, dass sie eine verständliche und ansprechende Geschichte beinhalten, um die Wahrscheinlichkeit, dass die Kinder die Anforderung verstehen, zu erhöhen. Im Rahmen der Aufgabe sollten die Kinder sich vorstellen, dass sie Tierforscher seien und neue Fantasietierfamilien entdecken. Der Auftrag an die Kinder bestand darin herauszufinden, welche(s) Körperteil(e) wirklich wichtig sei(en), um zu einer bestimmten Fantasietierfamilie zu gehören. Der Versuchsleiter legte den Kindern nacheinander Karten mit Fantasietieren vor und gab an, ob das jeweilige Tier zu einer bestimmten Tierfamilie (z.B. den „Talitos“) gehöre. Nach jeder Karte fragte der Versuchsleiter nach der aktuellen Hypothese des Kindes bezüglich des/der wichtigen Körperteils/e (z.B. „Was glaubst Du, welches Körperteil ist wirklich wichtig, um ein Talito zu sein?“). Die Anzahl der potentiell bedeutsamen Körperteile sowie die Anzahl der konzeptdefinierenden Körperteile wurden systematisch variiert, so dass schließlich sechs Fantasietierfamilien (d.h. sechs Versuchsdurchgänge mit unterschiedlich großen Sets von 4 bis 7 Tierkarten) vorlagen. Da die Tierkarten in Anlehnung an Bruner et al. (1956) sukzessiv vorgelegt wurden, ist zu Beginn eines jeden Durchgangs uneindeutig, welche(s) Körperteil(e) wirklich wichtig für die Zugehörigkeit zu einer Fantasietierfamilie sind/ist. Zu Beginn jedes Durchgangs gibt es folglich mehr als eine richtige Lösung. Im Laufe jedes Durchgangs, d.h. mit zunehmender Anzahl an Tierkarten, müssen die Kinder Körperteile ausschließen, um am Ende zu einer Hypothese zu kommen, die alle Tiere, die zu einer Tierfamilie gehören, umfasst. Ebenso wie im Paradigma von Bruner et al. (1956) ist folglich das flexible Aufstellen

von neuen Hypothesen anhand der vorliegenden Evidenzen und die induktive Ableitung neuer Hypothesen allein anhand des Versuchsmaterials erforderlich.

Bevor die Fantasietieraufgabe für Studie 1 verwendet wurde, wurde die Durchführbarkeit im Kindergartenalter anhand einer Pilotierungsstichprobe (N=20 Kinder zwischen 4 und 6 Jahren) überprüft und einige Aspekte modifiziert. Zur Erhöhung der Verständlichkeit wurde ein Übungsdurchgang eingeführt, in dem der Versuchsleiter den induktiven Hypothesengenerierprozess gemeinsam mit dem Kind durchging (vgl. Anhang B, practice trial). Zudem zeigte sich, dass sich die Fantasietierfamilien nach Schwierigkeit ordnen lassen, wodurch es sinnvoll erschien, ein Abbruchkriterium einzuführen, um Frustrationen bei den Kindern zu vermeiden, die Schwierigkeiten mit der Aufgabe hatten. Das Abbruchkriterium bestand darin, die Aufgabe vorzeitig zu beenden, wenn ein Kind einen Versuchsdurchgang nicht vollständig richtig löste, d.h. den/die wirklich wichtigen Körperteil(e) einer Fantasietierfamilie nicht herausfinden konnte. Abweichend zum Paradigma von Bruner et al. (1956) wurde entschieden, die schon präsentierten Tierkarten nicht abzudecken, sondern gut sichtbar auf dem Tisch liegen zu lassen. Hierdurch wurde sichergestellt, dass die Leistung der Kinder nur in geringem Maße durch ihre Gedächtnisfähigkeiten beeinflusst werden konnte. Durch diese Verbesserungen wurde es möglich, die Aufgabe im Rahmen von Studie 1 an einer Stichprobe von Kindern mit einem breiten Altersspektrum (4 bis 13 Jahre) einzusetzen, so dass erste Erkenntnisse zu der Frage, ab welchem Alter induktive Hypothesengenerierfähigkeiten entstehen, gewonnen werden konnten (vgl. hierzu Kapitel II).

Im Bereich der Entwicklung der Fähigkeit zum *Experimentieren* zeigte die Studie von Croker und Buchanan (2011), dass ein basales Verständnis für das Experimentieren im Vorschulalter vorhanden sein könnte. Die Autoren wiesen dies allerdings unter Zuhilfenahme eines den Kindern vertrauten Kontextes (Zahnpflege) nach und zeigten, dass die vierjährigen Kinder dann das konklusive Experiment unter mehreren Experimenten auswählten, wenn die vorgegebene experimentelle Situation mit ihren Vorannahmen zur Zahnpflege übereinstimmte. Unklar ist allerdings, ob Kindergartenkinder auch dann dazu in der Lage sind, ein konklusives Experiment zu identifizieren, wenn sie kein Vorwissen aus einem vertrauten Kontext heranziehen können. Mit Hilfe von Studie 1 und 2 sollten für die Komponente des Experimentierens Erkenntnisse dazu gewonnen werden, wann genau sich im Laufe der Kindergartenzeit die Fähigkeit, ein konklusives Experiment zu erkennen, ohne auf einen vertrauten Kontext zurückzugreifen, entwickelt. Befunde zum Experimentierverständnis ohne Rückgriff auf Vorwissen könnten insbesondere für eine erfolgreiche Konzeption von Bildungsprogrammen zur naturwissenschaftlichen Förderung im Kindergartenalter von Bedeutung sein. Für die Komponente des Experimentierens lag mit der Aufgabe von Sodian et al. (1991) bereits ein bekanntes Untersuchungsparadigma vor. In

Studie 1 und 2 wurde dieses Paradigma in nur leicht veränderter Form (Verwendung von anschaulichem Material) verwendet, um eine weitgehende Vergleichbarkeit der Studien mit anderen Untersuchungen zu gewährleisten.

Im Bereich der Entwicklung der Fähigkeit zur *Evidenzbewertung* liegen bereits einige Befunde zur frühkindlichen Entwicklung vor. Dennoch scheint unklar zu sein, wann sich die Fähigkeit zur Bewertung von Evidenzen, die eine nicht perfekte Kovariation zwischen zwei Variablen beinhalten, sowie die Fähigkeit zur Bewertung nicht vorhandener Kovariationen entwickeln (vgl. Kapitel I.4.3). Auch für diese Komponente lag mit der Aufgabe von Koerber et al. (2005) bereits ein bekanntes Untersuchungsparadigma vor, das zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit mit anderen Studien für Studie 1 und 2 herangezogen wurde.

Studie 1 hatte neben der Bearbeitung der schon genannten Forschungslücken das übergeordnete Ziel, die Entwicklung der drei kognitiven Komponenten im Vergleich zu erfassen. Während zur kindlichen Entwicklung der Fähigkeit zur Hypothesengenerierung ohne Rückgriff auf Vorwissen kaum Befunde vorlagen (vgl. Kapitel I.4.1), zeigte sich bei der Betrachtung der Fähigkeit zur Evidenzevaluation und zum Experimentieren, dass die Bewertung von Evidenzen möglicherweise bereits zu einem früheren Zeitpunkt möglich wird als das Verständnis für Experimente (vgl. Koerber et al., 2005; Sodian et al., 1991). Die Ergebnisse bisheriger Studien deuten daher darauf hin, dass sich die drei kognitiven Komponenten möglicherweise zu unterschiedlichen Zeitpunkten entwickeln. In Studie 1 wurden somit Aufgaben zu allen drei Komponenten verwendet und mit einer Stichprobe von Kindern unterschiedlicher Altersgruppen durchgeführt, um zu überprüfen, ob sich bestimmte Altersabschnitte ausmachen lassen, zwischen denen die Lösungsraten der verschiedenen Aufgaben signifikant ansteigen. Gibt es Unterschiede zwischen den Aufgaben zu den drei Komponenten im Hinblick auf die Altersgruppen, zwischen denen es zu einem signifikanten Anstieg der Lösungsraten kommt, weist dies auf eine asynchrone Entwicklung der drei Komponenten hin. Erkenntnisse zur Synchronität bzw. Asynchronität könnten zu einem differenzierteren Verständnis der kognitiven Möglichkeiten und Grenzen von Kindern unterschiedlicher Altersbereiche in ihrem Verständnis wissenschaftlicher Methoden und dadurch ebenfalls zu einer Optimierung naturwissenschaftlicher Bildungsprogramme beitragen.

Die Ergebnisse von Studie 1 zeigten unter anderem, dass eine solche asynchrone Entwicklung tatsächlich vorliegt und dass die Aufgabe zum Hypothesengenerieren die Fähigkeiten der Kindergartenkinder deutlich überstieg (vgl. Kapitel II). Infolgedessen wurden in Studie 2 ausschließlich die Komponenten des Experimentierens und des Evidenzbewertens betrachtet. Studie 2 hatte das übergeordnete Ziel, mit Hilfe eines längsschnittlichen Designs individuelle Entwicklungsverläufe dieser beiden Komponenten

aufzuzeigen, um zu Aussagen darüber zu gelangen, ob die Fähigkeiten der Kinder über die Kindergartenzeit hinweg stabil bestehen bleiben, ob im Laufe der Kindergartenzeit signifikante Verbesserungen auftreten, und in welchen Altersabschnitten genau. Die Untersuchung dieser Fragestellungen diente der spezifischeren Identifikation von sensiblen Phasen in der Entwicklung des bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denkens in der frühen Kindheit.

Während Studie 1 erstmals einen querschnittlichen Überblick über alle drei Komponenten des bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denkens bietet und Aussagen über den Entwicklungsstand in einer breiten Altersspanne zulässt, liegt die Stärke von Studie 2 in einer fokussierten Betrachtung der beiden Komponenten, deren Entwicklung im Kindergartenalter messbare Fortschritte aufweist. Beide Studien versprachen neuartige Erkenntnisse zu bisher nur in Ansätzen geklärten Fragestellungen zur Entwicklung des kindlichen Verständnisses naturwissenschaftlicher Methoden. Diese Fragen schienen interessant genug, dem Rat Skinners (1956; s. oben) zu folgen, alles andere fallenzulassen und ihnen nachzugehen.

## II. Studie 1: Scientific reasoning in early and middle childhood

---

*Aufgrund der Veröffentlichung dieses Kapitels als Artikel in der Fachzeitschrift „British Journal of Developmental Psychology“ sind die rechtlichen Bestimmungen des Verlags zu wahren. Aus diesem Grund ist dieses Kapitel nicht Bestandteil dieses Dokuments. Das Kapitel ist über den Verlag beziehbar unter Zuhilfenahme folgender Angaben:*

Piekny, J., & Maehler, C. (2012). Scientific reasoning in early and middle childhood: The development of domain-general evidence evaluation, experimentation, and hypothesis generation skills. *British Journal of Developmental Psychology*. doi: 10.1111/j.2044-835X.2012.02082.x

### **III. Studie 2: The development of experimentation and evidence evaluation skills at preschool age**

---

*Aufgrund der Veröffentlichung dieses Kapitels als Artikel in der Fachzeitschrift „International Journal of Science Education“ sind die rechtlichen Bestimmungen des Verlags zu wahren. Aus diesem Grund ist dieses Kapitel nicht Bestandteil dieses Dokuments. Das Kapitel ist über den Verlag beziehbar unter Zuhilfenahme folgender Angaben:*

Piekny, J., Grube, D., & Maehler, C. (2013). The Development of Experimentation and Evidence Evaluation Skills at Preschool Age. *International Journal of Science Education*, (ahead-of-print), 1-21.

## IV. Diskussion zu Studie I und II

---

„I argued that it was important not to place too much reliance on any single piece of experimental evidence. It might turn out to be misleading. Jim (Watson) was a little more brash, stating that no *good* model ever accounted for *all* the facts, since some data was bound to be misleading if not plain wrong. A theory that *did* fit all the data would have been “carpentered” to do this and would thus be open to suspicion.”

(F. Crick, 1988, S. 59-60, Betonungen im Original)

Bevor zum zweiten thematischen Schwerpunkt dieser Arbeit übergegangen wird, sollen die Ergebnisse von Studie I und II verglichen und gemeinsam diskutiert werden. Die Ergebnisse werden zunächst in Bezug auf jede einzelne der drei kognitiven Komponenten des bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denkens reflektiert. Anschließend wird eine Gesamtbetrachtung der Ergebnisse vorgenommen. Auf eine Diskussion der Ergebnisse vor dem Hintergrund der theoretischen Ansätze zur kognitiven Entwicklung, die in Kapitel I dargestellt wurden, wird an dieser Stelle zunächst verzichtet, da diese im Rahmen der Gesamtdiskussion in Kapitel VII.1.1.2 erfolgen wird.

In Studie 1 wurde mit Hilfe der Fantasietieraufgabe die Frage bearbeitet, ab welchem Alter bereichsübergreifende *Hypothesengenerierfähigkeiten* entstehen. Die Ergebnisse zeigten, dass die Aufgabe sowohl für vier- und fünfjährige Kindergartenkinder als auch für Kinder im ersten und dritten Grundschuljahr eine große Herausforderung darstellte. Aus diesem Grund schien es sinnvoll, die Aufgabe im Rahmen von Studie 2, die sich ausschließlich auf die längsschnittliche Untersuchung von Kindergartenkindern im Alter von 4, 5 und 6 Jahren bezog, nicht einzusetzen. Es stellt sich jedoch die Frage, ob Kindergarten- und Grundschulkindern tatsächlich nicht dazu in der Lage sind, die Anforderung des Hypothesengenerierens ohne Rückgriff auf inhaltspezifisches Vorwissen zu bewältigen, oder ob die Fähigkeiten der Kinder aufgrund der Gestaltung der Instruktion und/ oder des Versuchsmaterials nicht adäquat erfasst werden konnten. Diese Frage ließe sich über verschiedene Vereinfachungen und Variationen der Instruktion und Gestaltung der Aufgabe in nachfolgenden Studien beantworten. Eine Idee zur Vereinfachung der Instruktionen wäre, das Kind nach jeder Tierkarte daran zu erinnern, dass es auch die übrigen schon präsentierten Tierkarten berücksichtigen soll (etwa: „Achtung, schau nochmal ganz genau *alle* Talitos an! Welches Körperteil ist wirklich wichtig...“). Diese Idee ergab sich aus der Beobachtung der Lösungsversuche insbesondere der jüngeren Kinder, die dazu tendierten, ausschließlich die zuletzt präsentierte Tierkarte beim Generieren einer neuen Hypothese zu

berücksichtigen. Eine weitere mögliche Vereinfachung könnte die Einführung mehrerer gemeinsamer Übungsdurchgänge zu Beginn der Aufgabe sein, in denen der Versuchsleiter dem Kind vermittelt, durch welche Überlegungen die Aufgabe zu lösen ist. Hierbei wäre allerdings abzuwägen, ob die Einführung weiterer Übungsdurchgänge dazu führen könnte, dass die Aufgabe ihren diagnostischen Zweck nicht mehr erfüllt. Sobald mehrere Übungsdurchgänge eingeführt werden, könnten die Übungsdurchgänge schon ein kurzes Training zur Aufgabenlösung darstellen und nicht mehr ausschließlich die Veranschaulichung des gewünschten Lösungswegs. Die Aufgabe wäre in diesem Fall eher zur Bearbeitung der Frage, ab welchem Alter bereichsübergreifende Hypothesengenerierfähigkeiten *trainierbar* sind, zu verwenden. Studie 1 stellt eine der ersten Untersuchungen der Frage dar, ab welchem Alter sich die Fähigkeit, allein aufgrund von Evidenzen durch induktive Schlussfolgerungsprozesse schlüssige Hypothesen zu generieren, entwickelt. Aufgrund einer Studie ist diese Frage nicht abschließend zu beantworten. Weitere Modifikationen des vorgeschlagenen Untersuchungsparadigmas und Replikationen der Ergebnisse sind wünschenswert.

In Bezug auf die Fähigkeit zum *Experimentieren* zeigte sich beim Vergleich der Ergebnisse von Studie 1 und 2 ein Widerspruch. Im Alter von 6 Jahren unterschieden fast 50% der Kinder aus Studie 2 zwischen der Herstellung eines gewünschten Effektes (das Füttern der Maus) und der kritischen Hypothesenprüfung, während nur etwa 30% der etwas älteren Erstklässler aus Studie 1 diese Unterscheidung gelang. Während die Ergebnisse von Studie 1 einen deutlichen Anstieg der Lösungsrate des kombinierten Maßes aus Fütter- und Experimentierfrage zwischen der ersten und dritten Grundschulklasse nahelegen (vgl. Tabelle 4, Kapitel II, S. 63), zeigte sich in Studie 2 ein signifikanter Anstieg schon zwischen dem 5. und 6. Lebensjahr und auf einem deutlich höheren Gesamtniveau (vgl. Tabelle 7, Kapitel III, S. 85). Eine mögliche Erklärung für diesen Widerspruch ist, dass bei Studie 2 Testwiederholungseffekte aufgrund des längsschnittlichen Designs aufgetreten sein könnten. Den Kindern wurde zum Messzeitpunkt t3 die Experimentieraufgabe bereits zum dritten Mal vorgelegt. Möglicherweise hat die höhere Vertrautheit mit dem Versuchsmaterial, den Versuchsleitern und der Geschichte zu einer erhöhten Lösungsrate geführt.

Es muss allerdings zusätzlich beachtet werden, dass die Ergebnisse von Studie 2 besser als die Ergebnisse von Studie 1 mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen aus diesem Kompetenzbereich vergleichbar sind. Sowohl die Ergebnisse der Untersuchung von Croker und Buchanan (2011) als auch die Ergebnisse von Sodian et al. (1991) lassen vermuten, dass sich die Fähigkeit, ein konklusives Experiment identifizieren zu können, im Laufe der Kindergartenzeit entwickeln, und nicht erst im Laufe der Grundschulzeit, wie die Ergebnisse von Studie 1 nahelegen. Es stellt sich daher weniger die Frage, warum die

Kindergartenkinder aus Studie 2 bei dieser Aufgabe außergewöhnlich gute Leistungen zeigten; überraschend scheint eher der Befund, dass viele Erstklässler aus Studie 1 mit der Aufgabe zum Experimentieren so deutliche Schwierigkeiten hatten.

Eine Hypothese hierzu wäre, dass die Erstklässler aus Studie 1 das konklusive Experiment (das Aufstellen des Hauses mit der kleinen Tür) als inkonklusiv interpretiert haben könnten. Diese mögliche Interpretation wurde in der Diskussion zu Studie 2 beschrieben (vgl. Kapitel III.4). Das im Rahmen der Aufgabe als konklusiv bezeichnete Experiment kann dann als inkonklusiv angesehen werden, wenn die Hypothese, dass die Maus klein ist, stimmt, aber angenommen wird, dass die Maus keinen Hunger hat und das Futter folglich im Haus liegen lässt. Die Konklusivität eines Experiments bemisst sich nach der Eindeutigkeit der Schlussfolgerungen, die es nach dem Auftreten aller möglichen Versuchsausgänge zulässt. Der Versuchsausgang „das Futter ist noch da“ lässt im Falle des Aufstellens des Hauses mit der kleinen Tür nur dann die Schlussfolgerung zu, dass es sich um eine große Maus gehandelt haben muss, wenn gleichzeitig davon ausgegangen wird, dass die Maus, egal ob groß oder klein, motiviert ist, an das Futter heranzukommen. Dagegen stellt der Versuchsausgang „das Futter ist weg“ im Falle des Aufstellens des Hauses mit der kleinen Tür eindeutig die Schlussfolgerung zu, dass es sich um eine kleine Maus gehandelt haben muss. Das Experiment, das Haus mit der kleinen Tür aufzustellen, ist folglich je nach Versuchsausgang unterschiedlich konklusiv.

Die Betrachtung des Antwortverhaltens der Erstklässler aus Studie 1 bei der Mause Aufgabe spricht dafür, dass einige Kinder diese Interpretation des als konklusiv bezeichneten Experimentes vorgenommen haben könnten. Sie beantworteten zwar die Frage zum konklusiven Experiment 1 („Wenn sie das Haus mit der kleinen Tür nehmen und das Futter ist später weg, wissen sie dann ganz bestimmt, ob die Maus groß oder klein ist?“) weit überwiegend richtig (fast 90% richtige Lösungen), aber die Frage zum konklusiven Experiment 2 („Wenn sie das Haus mit der kleinen Tür nehmen und das Futter ist später noch da, wissen sie dann ganz bestimmt, ob die Maus groß oder klein ist?“) weniger häufig richtig (etwa 70% richtige Lösungen, vgl. Kapitel II, Tabelle 4). Diese Interpretation des konklusiven Experimentes als inkonklusiv könnte daher bei den Erstklässlern aus Studie 1 zu einer geringeren Lösungsrate des kombinierten Fütter- und Experimentiermaßes geführt haben.

Es stellt sich jedoch die Frage, warum ausschließlich die Erstklässler diese Interpretation der Aufgabe bevorzugt haben könnten. Eine Betrachtung des Antwortverhaltens der Dritt- und Fünftklässler in Studie 1 legt nahe, dass die älteren Kinder das als konklusiv bezeichnete Experiment eindeutiger als die Erstklässler als konklusiv wahrgenommen haben (vgl. Kapitel II, Tabelle 4). Eine mögliche Erklärung für diesen Unterschied zwischen den

Altersgruppen ergibt sich aus der Gesamtbetrachtung der Ergebnisse aus Studie 1 und 2, die zunächst zugunsten der Betrachtung der Ergebnisse zur Entwicklung der Fähigkeit zur Evidenzbewertung zurückgestellt wird.

Im Bereich der Fähigkeit zur *Evidenzbewertung* zeigte sich eine deutliche Übereinstimmung zwischen Studie 1 und 2 bezüglich der Bewertung von Evidenzen, die eine perfekte Kovariation zwischen zwei Variablen darstellen. Vielen Kindern in beiden Studien gelang dies bereits ab dem 4. Lebensjahr, und diese Fähigkeit wies eine hohe zeitliche Stabilität über die drei Messzeitpunkte in Studie 2 auf. Ebenso stimmen die Ergebnisse aus Studie 1 und 2 zur Bewertung von Evidenzen, die keinen Zusammenhang zwischen zwei Variablen nahelegen (nicht vorhandene Kovariation; in den Studien: Noncovariation question), weitgehend überein und entsprechen außerdem den Ergebnissen der vorherigen Studie von Koerber et al. (2005). Sowohl in Studie 1 und 2 als auch in der Studie von Koerber et al. (2005) beantworteten nur wenige Kinder im Alter von vier und fünf Jahren die Frage nach dem nicht vorhandenen Zusammenhang richtig; ein signifikanter Anstieg der Lösungsrate ergab sich zwischen dem 5. und 6. Lebensjahr bzw. der ersten Klasse.

In Studie 1 wurde zur Erklärung des unerwarteten Befundes, dass die Erstklässler bei der Frage zur nicht perfekten Kovariation schlechtere Leistungen zeigten als die älteren Kindergartenkinder, eine genauere Betrachtung der falschen Antworten vorgenommen. Die Erstklässler aus Studie 1 beantworteten die Frage nach der nicht perfekten Kovariation häufig falsch mit „blau und gelb“ (vgl. Kapitel II, Tabelle 3). Die Erstklässler bemerkten offenbar, dass sowohl das blaue als auch das gelbe Kaugummi gemeinsam mit kranken Zähnen dargestellt wurden, berücksichtigten allerdings noch nicht die relative Anzahl der Kombinationen von Kaugummifarbe und Zahnzustand auf den Bildern. In Studie 2 konnte insgesamt eine deutlich bessere Leistung der Kinder bei der Frage zur nicht perfekten Kovariation festgestellt werden als bei den Kindern der vergleichbaren Altersgruppen in Studie 1. Die Leistungen der Kinder in Studie 2 fielen allerdings im Vergleich zu den Leistungen der Kinder in der Vorgängerstudie von Koerber et al. (2005) geringer aus. Auch hier scheinen daher vor allem die deutlich geringeren Leistungen der Kinder in Studie 1 im Vergleich zu den Kindern aus Studie 2 und den Kindern der Vorgängerstudie von Koerber et al. (2005) einen unerwarteten Befund darzustellen, der nicht ausschließlich auf möglicherweise vorhandene Testwiederholungseffekte aufgrund des längsschnittlichen Designs in Studie 2 zurückzuführen ist.

Die Kinder in Studie 2 verbesserten sich bei der Beantwortung der Frage zur nicht perfekten Kovariation hauptsächlich zwischen den Messzeitpunkten t1 (vier Jahre) und t2 (fünf Jahre; vgl. Kapitel III, Tabelle 3). Allerdings ergab sich insgesamt eine leichte, hier nicht signifikante Verschlechterung zwischen t2 (fünf Jahre) und t3 (sechs Jahre; vgl. Kapitel III,

Tabelle 3). Die genauere Analyse der Antwortmuster ergab, dass 6 von 45 Kinder zu den Zeitpunkten t1 und t2 die richtige Antwort gaben, aber zu t3 ihre Antwort in eine falsche Antwort änderten (vgl. Kapitel III, Tabelle 5). Die Ergebnisse aus Studie 2 zur Frage nach der nicht perfekten Kovariation weisen darauf hin, dass es bei einigen Kindern zu einem Wechsel in der Wahrnehmung des Aufgabenmaterials zwischen t2 und t3 gekommen sein könnte. Möglicherweise haben einige Kinder zum Zeitpunkt t3 erstmals wahrgenommen, dass beide Kaugummifarben gemeinsam mit kranken Zähnen auftraten und die Aufgabe infolgedessen falsch gelöst. Um hierzu genauere Aussagen machen zu können, müsste allerdings ebenfalls eine Fehleranalyse der Kinder aus Studie 2 durchgeführt werden, so dass diese Annahme bisher eher spekulativ ist. Festzuhalten ist, dass ein Teil der Kinder aus Studie 2 eine Frage, die sie ein Jahr zuvor noch richtig beantwortet hatten, zum Zeitpunkt t3 falsch beantworteten. Dieser Abfall richtiger Antworten in diesem Alterszeitraum könnte mit dem in Studie 1 festgestellten unerwarteten Abfall der Lösungsrate zwischen den älteren Kindergartenkindern und den Erstklässlern vergleichbar sein.

Studie 1 hatte das übergeordnete Ziel, die Synchronität der Entwicklung der Einzelkomponenten des bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denkens über eine breite Altersspanne hinweg zu überprüfen. Die Ergebnisse zeigten, dass die Entwicklung der Einzelkomponenten weitgehend asynchron verläuft. Studie 2 hatte das übergeordnete Ziel, insbesondere das Kindergartenalter zu fokussieren und genauere Aussagen zur Stabilität, zu sensiblen Entwicklungsphasen und zu individuellen Entwicklungsverläufen der Komponenten des Evidenzbewertens und des Experimentierens zu liefern. Während das Antwortverhalten der Kinder in Studie 2 zur Frage zur perfekten Kovariation und zur nicht vorhandenen Kovariation recht stabile und in der Lösungshäufigkeit ansteigende Antwortmuster ergab, zeigten sich insbesondere bei der Frage zur nicht perfekten Kovariation und im Bereich des Experimentierverständnisses eher instabile und teilweise rückläufige Antworttendenzen.

Zur Interpretation dieser übergeordneten Ergebnisse wurden in beiden Studien Unterschiede im Ausmaß an Eindeutigkeit, mit der auf Grundlage vorgelegter (Kaugummiaufgabe und Fantasietieraufgabe) bzw. antizipierter (Experimentieraufgabe) Evidenzen eine Schlussfolgerung getroffen werden musste, als Erklärungsmodell vorgeschlagen. Die drei Aufgaben unterscheiden sich nicht nur im Hinblick auf die Komponente des bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denkens, die sie erfassen sollten, sondern auch im Ausmaß der Eindeutigkeit der Schlussfolgerungen, die aufgrund der Evidenzen gezogen werden können. Während die Evidenzen, die eine perfekte Kovariation und eine nicht vorhandene Kovariation darstellen, recht eindeutige Schlussfolgerungen über konkurrierende Hypothesen zulassen, ist dies im Falle von Evidenzen, die eine nicht perfekte Kovariation aufzeigen, nicht gegeben. Das größte Ausmaß an Uneindeutigkeit der Evidenzen

liegt bei der Hypothesengenerieraufgabe vor, bei der die Kinder bereits nach Präsentation einer Evidenz (einer Fantasietierkarte) eine Hypothese zum relevanten Körperteil generieren mussten. Die Aufgabe zum Experimentieren erforderte ein Verständnis dafür, wann ein Experiment eine eindeutige oder uneindeutige Schlussfolgerung zulässt, um das konklusive vom inkonklusiven Experiment abgrenzen zu können.

Das Erklärungsmodell, dass die Eindeutigkeit der vorgelegten oder zu antizipierenden Evidenzen für die Kinder eine Rolle gespielt haben könnte, lässt sich auf die gemeinsame Interpretation beider Studien anwenden. Die deutlich geringere Lösungsrate der Erstklässler in Studie 1 im Vergleich zu den älteren Kindergartenkindern bei der Frage zur nicht perfekten Kovariation sowie die Analyse ihrer falschen Antworten, und die leichte, aber nicht signifikante Verschlechterung der Kinder zwischen t2 und t3 in Studie 2 sprechen für die Hypothese, dass Kinder zwischen dem 5. Lebensjahr und der ersten Klasse möglicherweise eine zunehmende Sensibilität dafür entwickeln, ob Evidenzen eindeutige Schlussfolgerungen zulassen. Die Kindergartenkinder aus Studie 1 nahmen die Uneindeutigkeit der Evidenzen bei der Frage zur nicht perfekten Kovariation vielleicht noch nicht wahr. Die Dritt- und Fünftklässler aus Studie 1 dagegen nehmen die Uneindeutigkeit der Evidenzen bei dieser Aufgabe möglicherweise wahr, sind aber vermutlich besser dazu in der Lage, auch die Anzahl der Evidenzen, die für oder gegen eine Hypothese sprechen, in Betracht zu ziehen.

In der Altersgruppe der Erstklässler in Studie 1 könnte es durch das zunehmende Verständnis dafür, ob man auf der Grundlage der verfügbaren Evidenzen eine eindeutige Schlussfolgerung ziehen kann, dazu gekommen sein, dass die Kinder zunächst alle Situationen, in denen Evidenzen keine absolut eindeutige Schlussfolgerung zulassen, als gleichermaßen uneindeutig wahrnehmen. Folglich wird dann auch das Aufstellen des Hauses mit der kleinen Tür, also das als konklusiv bezeichnete Experiment in der Experimentieraufgabe, als inkonklusiv beurteilt, da die Möglichkeit eines inkonklusiven Versuchsausgangs salient wird. Die älteren Dritt- und Fünftklässler aus Studie 1 haben möglicherweise ebenso wie die Erstklässler wahrgenommen, dass das Aufstellen des Hauses mit der kleinen Tür (das konklusive Experiment) inkonklusive Ergebnisse erbringen könnte, haben sich aber dennoch dafür entschieden, es zumindest als konklusiver als das Aufstellen des Hauses mit der großen Tür einzuschätzen. Die Kinder dieser Altersgruppen scheinen Evidenzen nicht mehr nur als eindeutig oder uneindeutig im Sinne einer Dichotomie aufzufassen, sondern nehmen das Ausmaß an Eindeutigkeit möglicherweise dimensional wahr. Diese Interpretation wird durch die Ergebnisse der Studie von Lagattuta und Sayfan (2011) gestützt, in der sich zeigte, dass Kinder im Kindergartenalter in uneindeutigen Situationen eindeutige Entscheidungen darüber trafen, ob sie glauben, dass ein bestimmtes Ereignis eintreten wird oder nicht. Im Gegensatz dazu gaben Kinder ab dem Grundschulalter

häufiger die Antwort, dass das Ereignis „vielleicht“ oder „wahrscheinlich“ eintreten wird, so dass angenommen werden kann, dass Kinder ab dem Grundschulalter in uneindeutigen Situationen auf Grundlage eines basalen Wahrscheinlichkeitsmodells urteilen.

Dieses Erklärungsmodell kann anhand der vorliegenden Ergebnisse aus Studie 1 und 2 nicht bestätigt oder widerlegt werden. Ebenso wenig gelingt es mit Hilfe dieses Modells zu erklären, warum der beschriebene Effekt der zunehmenden Sensibilität für die Eindeutigkeit von Evidenzen im Altersbereich von Erstklässlern in Studie 1 auftrat, aber in Studie 2 bei Kindern einer vergleichbaren Altersgruppe nur in Ansätzen belegbar scheint. Auch die deutlich bessere Leistung der Kinder aus Studie 2 bei der Experimentieraufgabe und der Aufgabe zur nicht perfekten Kovariation lässt sich hierdurch nicht erklären. Möglicherweise müssen Unterschiede in den kognitiven Kompetenzen und den sozialen Hintergründen sowie in den pädagogischen Interventionen der Erzieherinnen und Erzieher bzw. der Lehrerinnen und Lehrer in den Einrichtungen der Kinder beider Stichproben in Betracht gezogen werden. Es handelt sich daher bei dem vorgeschlagenen Erklärungsmodell um eine vorläufige Hypothese zur Erklärung der unterschiedlichen Leistungen der Kinder verschiedener Altersgruppen in den Aufgaben zu den Komponenten des bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denkens, die nicht alle Ergebnisse beider Studien zu erklären vermag und damit kein für die vorliegenden Daten maßgeschneidertes Modell darstellt (vgl. Crick, 1988). Dennoch führte die Hypothese, dass eine zunehmende Sensibilität für die Eindeutigkeit von Evidenzen eine Rolle bei der Entwicklung des bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denken spielen könnte, zur Weiterführung des in dieser Arbeit beschriebenen Forschungsvorhabens.

Im Rahmen von Studie 1 wurde diskutiert, ob das unterschiedliche Ausmaß an Eindeutigkeit der Evidenzen in den drei Aufgaben mit unterschiedlichen metakognitiven Anforderungen bei der Koordination von Hypothesen und Evidenzen einherging. Der Begriff *Metakognition* bezeichnet das Wissen über und die Auseinandersetzung mit den eigenen kognitiven Prozessen (Flavell, Miller & Miller, 1993). Während beispielsweise die Lösung der Frage zur perfekten Kovariation der Evidenzbewertungsaufgabe lediglich erforderte, dass die Kinder verstanden haben mussten, dass Evidenzen zur Revision einer Hypothese führen können, mussten sie im Rahmen der Fantasietieraufgabe permanent überwachen, ob ihre bisherige Hypothese mit den verfügbaren Evidenzen übereinstimmt, da sie mit jeder neu aufgedeckten Karte ihre Hypothese überprüfen und ggf. anpassen mussten. Es lag bei dieser Aufgabe folglich ein maximales Ausmaß an Uneindeutigkeit der zu ziehenden Schlussfolgerungen vor. Die andauernde Überwachung der Hypothese-Evidenz-Relation und die damit verbundene Überwachung der Eindeutigkeit der Evidenzen für eine bestimmte Hypothese ist vermutlich ohne ein metakognitives Verständnis dafür, dass die eigenen

Hypothesen als vorläufiges kognitives Konstrukt zu verstehen sind und anhand der verfügbaren Evidenzen verändert werden können, schwer möglich. Ebenso scheint das Lösen der Experimentieraufgabe hohe metakognitive Anforderungen zu stellen. Bei dieser Aufgabe war es nötig, spätere Schlussfolgerungen, die durch die beiden Experimente ermöglicht werden, zu antizipieren, um das konklusive Experiment identifizieren zu können. Hierzu müssen diese Schlussfolgerungen ebenfalls als (zu erwartende) kognitive Inhalte verstanden werden, die sich je nach verfügbarer Evidenz hinsichtlich ihrer Eindeutigkeit unterscheiden können. Folglich könnten die Unterschiede in den Aufgaben im Hinblick auf die Eindeutigkeit der tatsächlichen oder zu erwartenden Schlussfolgerungen aus den dargebotenen Evidenzen zu Unterschieden in metakognitiven Anforderungen geführt haben.

Die Überlegungen zu den metakognitiven Anforderungen, die mit den Aufgaben zum bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denken einhergehen, flossen in die theoretische Erarbeitung der Fragestellung von Studie 3 (Kapitel VI) ein. Studie 3 befasste sich mit dem Versuch einer Erklärung für die Entstehung interindividueller Unterschiede im basalen Experimentierverständnis im Kindergartenalter. Auf der Basis der Modelle von Deanna Kuhn (1999, 2000) wurden die Überlegungen zu metakognitiven Anforderungen im wissenschaftlichen Denken genauer herausgearbeitet und das Verständnis falschen Glaubens als mögliche Vorläuferkompetenz abgeleitet. Im folgenden Kapitel sollen diese Modelle vorgestellt werden.

## V. Das Metawissensmodell und die Entwicklung epistemologischen Wissens nach Deanna Kuhn

---

„Der Zweifel ist der Beginn der Wissenschaft. Wer nichts anzweifelt, prüft nichts. Wer nichts prüft, entdeckt nichts. Wer nichts entdeckt, ist blind und bleibt blind.“

(Teilhard de Chardin, 1881-1955; Theologe, Paläontologe und Philosoph; Quelle unbekannt)

Kuhn (1999, 2000) verband das Konzept der Metakognition mit dem Konzept des bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denkens im Rahmen ihres Metawissensmodells. Anschließend arbeitete die Autorin die Beziehung zwischen der metakognitiven Entwicklung und der Entwicklung des bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denkens in Form eines Stufenmodells zum epistemologischen Wissen heraus (z.B. Kuhn, Cheney & Weinstock, 2000). Die Modelle basieren auf den in Kapitel I.3 vorgestellten Studien von Kuhn et al. (1988) zur Fähigkeit von Kindern und Erwachsenen zur Koordination von Theorien und Evidenzen sowie auf der theoretischen Reflektion dieser Ergebnisse (Kuhn, 1989) und werden im Folgenden in der Reihenfolge ihrer Entstehung dargestellt.

Kuhn et al. (1988) kamen zu dem Schluss, dass die meisten Kinder im Grundschulalter, aber auch viele Erwachsene nicht präzise zwischen Theorien und Evidenzen unterscheiden, sondern beide Entitäten zu einem gemeinsamen Erklärungsmodell vermischen, das das Auftreten bestimmter Phänomene (im in Kapitel I.3 beschriebenen Beispielexperiment das Auftreten von Schnupfen) begrifflich machen soll. Die Ergebnisse von Kuhn et al. (1988) wurden durch die Ergebnisse späterer Studien relativiert (vgl. Kapitel I.3; Koslowski, 1996), dennoch trugen sie im nachfolgenden Forschungsverlauf bedeutsam zur Theorieentwicklung des wissenschaftlichen Denkens bei. Kuhn (1989) hinterfragte, welche Fähigkeiten benötigt werden, um Theorien und Evidenzen erfolgreich koordinieren zu können. Die Autorin arbeitete hierzu das Verständnis dafür, dass Evidenzen und Theorien unterschiedliche Entitäten darstellen, dass eine Theorie eine kognitive Entität darstellt, über die man nachdenken kann, sowie die Fähigkeit, sich zeitweilig von der eigenen Theorie zu lösen, um erkennen zu können, was die Evidenzen unabhängig von der Theorie für diese bedeuten, heraus. Für alle diese Fähigkeiten werden metakognitive Kompetenzen benötigt, denn sie erfordern „thinking about theories than merely with them, and thinking about evidence than merely being influenced by it“ (Kuhn, 1989, S. 688).

Kuhn (1999) beschrieb die Entwicklung der Theory of Mind als entwicklungspsychologische frühkindliche Grundlage für spätere Fähigkeiten im

wissenschaftlichen Denken. Die Autorin sieht das bereichsübergreifende wissenschaftliche Denken als fortgeschrittene Theory of Mind Leistung. Eine wichtige Teilkompetenz der Theory of Mind ist das Verständnis falschen Glaubens. Das Verständnis falschen Glaubens bezeichnet das Verständnis dafür, dass das Verhalten anderer Menschen durch ihre Überzeugungen und Wünsche beeinflusst wird, und dass ihre Überzeugungen nicht notwendig mit den eigenen Überzeugungen und/ oder der Realität übereinstimmen (Wimmer & Perner, 1983). Eine Untersuchungsparadigma hierzu, die „Maxi-Aufgabe“, wird im Folgenden beispielhaft dargestellt. Die Maxi-Aufgabe nach Wimmer und Perner (1983) beginnt damit, dass der Versuchsleiter dem Kind ein Bild zeigt, auf dem ein Kind namens Maxi und zwei Schränke, ein blauer und ein grüner Schrank, abgebildet sind. Dem Kind wird erklärt, dass Maxi eine Tafel Schokolade in den blauen Schrank legt und danach nach draußen zum Spielen geht. Anschließend wird dem Kind ein zweites Bild präsentiert, auf dem abgebildet ist, wie Maxis Mutter die Schokolade aus dem blauen Schrank nimmt und in den grünen Schrank legt. Dazu wird dem Kind erklärt, dass die Mutter ein Stück Schokolade für einen Kuchen brauchte und deshalb die Schokolade aus dem blauen Schrank entfernt und in den grünen Schrank gelegt habe. Der Versuchsleiter präsentiert dann ein drittes Bild, auf dem Maxi vor den beiden Schränken steht. Die kritische Frage an das Kind lautet anschließend, wo Maxi nach der Schokolade suchen wird. Um diese Frage richtig beantworten zu können, muss das Kind das eigene Wissen darüber, dass die Schokolade tatsächlich im grünen Schrank liegt, von dem Wissen von Maxi abgrenzen können, die glaubt, dass die Schokolade im blauen Schrank liegt. Das Kind muss folglich ein Verständnis dafür haben, dass die Überzeugung von Maxi nicht mit der eigenen Überzeugung übereinstimmt und falsch ist, da Maxi nicht über dieselben Informationen verfügt wie das Kind selbst.

Das Metawissensmodell entstand im Kontext der Ergebnisse von Kuhn et al. (1988) und den daraus folgenden Überlegungen zur Entwicklung des kritischen Denkens (Kuhn, 1999). Das kritische Denken besteht nach Kuhn (1999) aus Metawissensfähigkeiten („meta-knowing skills“), die sich auf das Wissen über das eigene Wissen und das Wissen anderer beziehen. Die Metawissensfähigkeiten werden in drei Kategorien aufgeteilt: das metakognitive, das metastrategische und das epistemologische Wissen. Das *metakognitive* Wissen ist das deklarative Wissen über kognitive Vorgänge und beinhaltet das eigene Wissen darüber, was man selbst weiß und woher. Hierzu gehören Fähigkeiten aus dem Bereich der Theory of Mind. Das *metastrategische* Wissen sorgt dafür, dass bestimmte Lern- und Denkstrategien situationsadäquat ausgewählt und anschließend ihre Durchführung überwacht werden. Das *epistemologische* Wissen beinhaltet ein breiteres Verständnis des Wissens und der Erkenntnisse im Sinne von generellen philosophischen Überlegungen dazu, wie Wissen

zustande kommt. In diesen Bereich ordnete Kuhn das bereichsübergreifende wissenschaftliche Denken ein.

Kuhn (1999) stellte für jede der drei Kategorien zentrale Befunde zum Entwicklungsverlauf dar und verband insbesondere das metakognitive und das epistemologische Wissen eng miteinander. Hieraus entstand das Modell zur Entwicklung des epistemologischen Wissens (Kuhn, 2001, 2003; Kuhn et al., 2000; Kuhn & Dean, 2004), das im Folgenden dargestellt wird.

Kinder unter 4 Jahren gehen davon aus, dass die Behauptungen und Überzeugungen, die Menschen haben, genau der Realität entsprechen (Kuhn, 1999). Auf der Grundlage dieses metakognitiven Wissens ist es für sie nicht begreiflich, dass eine andere Person eine Überzeugung haben kann, von der das Kind selbst weiß, dass sie falsch ist (Kuhn, 1999). Das epistemologische Wissen, das sich daraus für Kinder dieser Altersgruppe ergibt, ist das eines *Realisten*: Die Überzeugungen und mentalen Konzepte von Personen sind eine Kopie der tatsächlichen Realität (Kuhn et al., 2000). Kritisches Denken ist für Kinder diesen Alters folglich sinnlos, denn wenn Überzeugungen ein direkter Spiegel der Realität sind, braucht man nicht über sie nachdenken oder sie zu prüfen. Es ergibt in diesem Entwicklungsstadium schlicht keinen Sinn, etwas anzuzweifeln und es anschließend zu prüfen. Damit ist auch kein wissenschaftliches Denken möglich (vgl. de Chardin, Eingangszitat).

Im Alter von etwa 4 Jahren macht das metakognitive Wissen von Kindern einen bedeutsamen Wandel durch. Kinder verstehen in diesem Alter die Beziehung zwischen Überzeugungen und den Prozessen, die diese Überzeugungen prägen, was zu einem zunehmenden Verständnis falschen Glaubens führt (Kuhn, 1999). Ab diesem Stadium macht es Sinn, Aussagen anzuzweifeln und ihren Realitätsgehalt zu prüfen. Für das epistemologische Wissen hat dieser Wandel zwei zumindest prinzipiell mögliche Implikationen: Zum einen wird für die Kinder verständlich, dass Überzeugungen und Evidenzen unterschiedliche Entitäten sind, und zum anderen können sie prinzipiell verstehen, welche Beziehungen zwischen diesen beiden Entitäten bestehen (Kuhn et al., 2000). Zwischen dem Erwerb des Verständnisses falschen Glaubens und diesen Implikationen scheint nach Kuhn (1999) ein zeitlicher Abstand zu bestehen. Das Verständnis falschen Glaubens wird zunächst erworben und kann auf typische Aufgaben wie die Maxi-Aufgabe angewandt werden, aber dieses Verständnis führt zeitlich nicht unmittelbar dazu, dass Kinder verstehen, dass verschiedene Überzeugungen bei verschiedenen Personen aufgrund von verschiedenen Evidenzen bestehen können (Kuhn, 1999). Grundsätzlich wächst allerdings das metakognitive Wissen darüber, dass die Überzeugungen das Produkt von Denkprozessen sind, die von Evidenzen klar abgrenzbar sind, aber auf ihnen basieren (Kuhn, 2000; Kuhn & Pearsall, 2000).

Das epistemologische Verständnis von Kindern im Alter von vier bis sechs Jahren, die bereits verstehen, dass Überzeugungen von der „wahren“ Realität abweichen können, bezeichnet Kuhn et al. (2000) als das Verständnis eines *Absolutisten*. Das epistemologische Wissen der Kinder dieses Alters ist dadurch gekennzeichnet, dass sie davon ausgehen, dass es eine wahre Realität gibt, die grundsätzlich entdeckbar ist (Kuhn, 1999). Dadurch wird kritisches Denken erstmals möglich, da Überzeugungen nun grundsätzlich gegenüber einer Norm (der wahren zu entdeckenden Realität) evaluiert werden können.

Das epistemologische Wissen auf dem Level des Absolutisten führt zu der bedeutsamen Einschränkung, dass Überzeugungen, Hypothesen und Theorien nur dadurch geprüft werden können, dass noch fehlende Informationen gesucht werden, um die wahre Hypothese herauszufinden (Kuhn, 1999). Kritisches Denken beschränkt sich folglich auf das Aufstellen von Hypothesen, die anschließende Informationssuche und die daraus direkte Ableitung von Aussagen über die Richtigkeit einer Hypothese. Mit Beginn der Adoleszenz kommt es häufig zu einer weiteren radikalen Veränderung des epistemologischen Verständnisses. Hypothesen werden mit Meinungen gleichgesetzt, Wissen wird als unsicher und kritisches Denken als irrelevant verstanden (Kuhn et al., 2000). Das epistemologische Verständnis von Jugendlichen fokussiert sich nicht auf die Entdeckung von Fakten oder Tatsachen, sondern Wissen wird ausschließlich als subjektiv und als Ergebnis individueller Denkprozesse verstanden. Demnach gibt es keine sicheren und objektiv messbaren Wahrheiten, sondern jede Person scheint das Recht auf eine eigene Wahrheit und eine eigene Wahrnehmung zu haben, die nicht als zutreffender oder weniger zutreffend als die Wahrnehmung einer anderen Person bewertet werden kann (Kuhn et al., 2000). Dieses Stadium benannten Kuhn und Park (2005) als Stadium der *Multiplisten oder Relativisten*.

Jenseits der Adoleszenz erreichen nach Kuhn und Park (2005) manche, aber bei weitem nicht alle Erwachsenen ein Stadium, in dem die objektive und die subjektive Dimension des Wissens und der Wissenserweiterung integriert werden. In diesem Stadium der *Evaluativisten* (Kuhn et al., 2000) wird verstanden, dass zwar jede Person ein Recht auf eine eigene Meinung oder Hypothese zu einem Thema hat, dass allerdings manche Meinungen in der Hinsicht „besser“ sind, als dass sie sich auf theoretische Argumente ebenso wie auf empirische Ergebnisse stützen. Obwohl Wissen auch in diesem Stadium als unsicher und subjektiv wahrgenommen wird, wird es als prinzipiell evaluierbar verstanden.

Nach Kuhn et al. (2000) führt folglich das Verständnis falschen Glaubens dazu, dass sich Kinder etwa im Alter von 4 Jahren vom Stadium der Realisten zum Stadium der Absolutisten entwickeln. Das epistemologische Verständnis der Kinder verändert sich damit radikal und führt erstmals dazu, dass ein bewusstes und durch eine spezifische Methodologie gelenktes Entdecken von Gegenständen in der Natur ermöglicht wird und für das Kind einen Sinn

ergeben kann. Jedoch scheint der Erwerb des Verständnisses falschen Glaubens nicht sofort, sondern mit einer zeitlichen Verzögerung das epistemologische Verständnis von Kindern zu verändern. Eine beginnende klare Unterscheidung zwischen den Entitäten Theorie und Evidenz tritt nach Kuhn (1999) erst im Alter von etwa 6 Jahren auf, während das Verständnis falschen Glaubens oft schon im Alter von 4 Jahren besteht. Hierzu bietet das Modell zur Entwicklung des epistemologischen Wissens keine Erklärung.

Studie 3 befasste sich mit einer auf diesen theoretischen Überlegungen aufbauenden Fragestellung. Kuhn (1999) schlug vor, dass das Verständnis falschen Glaubens eine Vorläuferkompetenz für die Entwicklung des epistemologischen Wissens von Kindern darstellt. Die Autorin differenzierte allerdings nicht zwischen verschiedenen Komponenten des wissenschaftlichen Denkens und überprüfte ihre Annahme nicht. Erkenntnisse dazu, ob die Entwicklung des bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denkens möglicherweise durch die Entwicklung des Verständnisses falschen Glaubens beeinflusst wird, könnten zu einer Erweiterung theoretischer Ansätze zur Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens beitragen und ebenso Hinweise auf Förderungsmöglichkeiten erbringen.

Zur Überprüfung des angenommenen Zusammenhangs zwischen dem Verständnis falschen Glaubens und dem bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denken schien es naheliegend, eine der Komponenten zu betrachten, die etwa zeitgleich wie das Verständnis falschen Glaubens Entwicklungsfortschritte zeigen. Die Ergebnisse von Studie 1 und 2 sowie die Ergebnisse von Ruffman et al. (1993) und Koerber et al. (2005) sprachen dafür, dass sich bei Verwendung vorwissensunabhängiger Untersuchungsparadigmen im Bereich der Evidenzbewertung und des Experimentierens im Kindergartenalter Entwicklungsfortschritte nachweisen lassen. Die Untersuchung des längsschnittlichen Zusammenhangs zwischen der Komponente der Evidenzbewertung und dem Verständnis falschen Glaubens ist bereits durch Astington, Homer und Pelletier (2002) erfolgt; ein Zusammenhang liegt vor. Aufgrund der ähnlichen Konstruktion von Aufgaben zum Verständnis falschen Glaubens und zur Evidenzbewertung (vgl. Kapitel I.4.3; Koerber et al., 2005; Ruffman et al., 1993) waren allerdings signifikante Zusammenhänge zu erwarten, so dass die Verwendung einer Aufgabe zur Evidenzbewertung zur Überprüfung der Beziehung zwischen wissenschaftlichem Denken und dem Verständnis falschen Glaubens einen wenig strengen Test darstellt. Die Komponente des Hypothesengenerierens kam aufgrund der übereinstimmend geringen Leistungen der Kindergartenkinder in Studie 1 und 2 nicht in Frage.

Die Komponente des Experimentierens im längsschnittlichen Zusammenhang mit dem Verständnis falschen Glaubens zu untersuchen erschien zudem theoretischer Sicht interessant, weil diese Komponente ein Verständnis für das Auftreten eindeutiger und uneindeutiger Schlussfolgerungen aus den beiden möglichen experimentellen Designs und

damit ein Verständnis für zu erwartende zukünftige Irrtümer erforderte. Das Verständnis für diese möglichen zukünftigen Irrtümer wiederum setzt ein grundsätzliches Verständnis falschen Glaubens voraus.

Aus diesen Gründen wurde in Studie 3 die Hypothese geprüft, dass das Verständnis falschen Glaubens eine Vorläuferkompetenz für das grundlegende Experimentierverständnis darstellt. Ein strenger Test dieser Hypothese erforderte zusätzlich die Kontrolle des Einflusses einer Reihe potentieller Einflussfaktoren auf die Entwicklung des Verständnisses falschen Glaubens und des Experimentierverständnisses. Aus der Literatur ist bekannt, dass in erster Linie die Sprache (Astington & Jenkins, 1999; de Villiers & Pyers, 2002; Mercer, Dawes, Wegerif & Sams, 2004; Lockl & Schneider, 2007; Torres & Zeidler, 2002), die exekutiven Funktionen (Carlson, Mandell & Williams, 2004; Decker, Hill & Dean, 2007; Hughes, 1998; van der Sluis, de Jong & van der Leij, 2007), das Arbeitsgedächtnis (Davis & Pratt, 1995; Gathercole, Pickering, Knight & Stegmann, 2004; Hasselhorn, Maehler & Grube, 2005; Niaz & Logie, 1993) und die Intelligenz (Rajkumar, Yovan, Raveendran & Russell, 2008; Schneider, Perner, Bullock, Stefanek & Ziegler, 1999; Sodian, Bullock, & Koerber, 2008) mit beiden Variablen korrelieren. Folglich wurden Maße zu diesen potentiellen Einflussfaktoren als Kontrollvariablen in Studie 3 integriert.

## **VI. Studie 3: The relation between preschool children's false-belief understanding and experimentation skills**

---

*Aufgrund der Veröffentlichung dieses Kapitels als Artikel in der Fachzeitschrift „Metacognition and Learning“ sind die rechtlichen Bestimmungen des Verlags zu wahren. Aus diesem Grund ist dieses Kapitel nicht Bestandteil dieses Dokuments. Das Kapitel ist über den Verlag beziehbar unter Zuhilfenahme folgender Angaben:*

Piekny, J., Grube, D., & Maehler, C. (2013). The relation between preschool children's false-belief understanding and domain-general experimentation skills. *Metacognition and Learning*, 1-17.

## VII. Resume

---

“I have no data yet. It is a capital mistake to theorise before one has data. Insensibly one begins to twist facts to suit theories, instead of theories to suit facts.”

(A. Conan Doyle, *The Adventures of Sherlock Holmes*, 1892, S. 7)

### 1. Zum wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn dieser Arbeit

---

Die vorliegende Arbeit befasste sich mit Fragestellungen zur Entwicklung des bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denkens in der frühen und mittleren Kindheit. Aus der Betrachtung des Forschungsfeldes (Kapitel I) wurden zunächst Fragen zur Beschreibung von Entwicklungsveränderungen verschiedener Komponenten des bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denkens abgeleitet, die im Rahmen zweier Studien bearbeitet wurden (Kapitel II und III). Aus den Ergebnissen beider Studien und theoretischen Überlegungen heraus wurde der Versuch einer *Erklärung* für die Entstehung des Experimentierverständnisses vorgenommen (Kapitel IV und V), die anschließend durch Studie 3 (Kapitel VI) einer empirischen Prüfung unterzogen wurde.

An dieser Stelle soll nun der wissenschaftliche Erkenntnisgewinn dieser Arbeit unter Berücksichtigung aller drei Studien reflektiert werden. Hierzu werden die Ergebnisse zunächst vor dem Hintergrund des SDDS-Modells und der Modelle von Kuhn betrachtet und eine theoretische Verbindung beider Modelle vorgeschlagen, bevor sie vor dem Hintergrund der übergreifenden Theorien der kognitiven Entwicklung interpretiert werden. Anschließend sollen sowohl die vorgeschlagene theoretische Verknüpfung kritisch hinterfragt als auch die Auswahl der Methoden diskutiert werden.

#### 1.1 Verbindung des SDDS-Modells mit dem Modell der epistemologischen Entwicklung

---

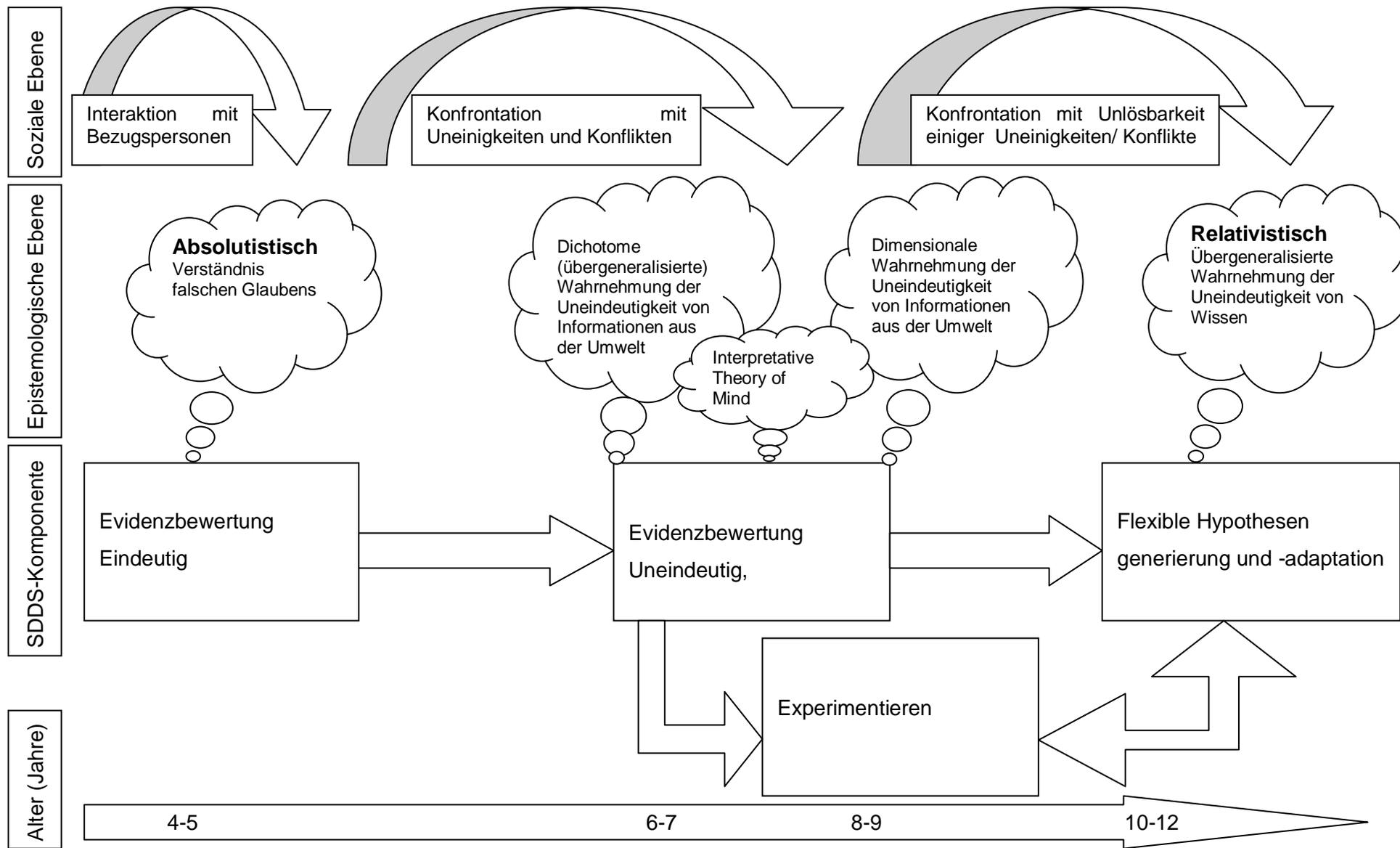
Aus den Ergebnissen von Studie 1 und 2 wurde der Vorschlag abgeleitet, das SDDS-Modell als Entwicklungsmodell zu betrachten (vgl. Kapitel IV). Die drei Komponenten, die das Modell definiert, scheinen sich asynchron zu entwickeln, so dass eine Reihenfolge in der Entwicklung der Komponenten nahe liegt (vgl. Kapitel II). In Studie 1 wurde vorgeschlagen, dass die Fähigkeit zur Bewertung eindeutiger Evidenzen der Fähigkeit, uneindeutige Evidenzen zu erkennen und zu bewerten, vorangeht und es dadurch anschließend möglich wird, Hypothesen flexibel an den Stand der Informationen, die durch Evidenzen gegeben werden, anzupassen. Wenn die Beziehung zwischen der Eindeutigkeit von Evidenzen und

der Sicherheit, mit der bestimmte Hypothesen angenommen werden können, in Ansätzen verstanden wurde, entwickelt sich etwa zeitgleich die Fähigkeit zur Differenzierung konklusiver von inkonklusiven Experimenten. Diesem Vorschlag folgend könnte innerhalb des SDDS-Modells eine Entwicklungsreihenfolge von der Interpretation eindeutiger Evidenzen zur Interpretation uneindeutiger Evidenzen (Komponente der Evidenzbewertung) bestehen, die einerseits in der Fähigkeit, konklusive experimentelle Designs zu erkennen (Komponente des Experimentierens) und andererseits in einer fortgeschrittenen sehr flexiblen Koordination von Hypothesen und Evidenzen (Komponente der Hypothesengenerierung) mündet.

Um zu einer Erklärung für diese Entwicklungsreihenfolge zu gelangen, wurde nach Merkmalen gesucht, hinsichtlich derer sich die Aufgaben zu den drei Komponenten unterscheiden. Die genauere Betrachtung der Aufgaben sowie der ihnen zugrunde liegenden Komponenten ergab, dass sie sich vor allem hinsichtlich der Eindeutigkeit der Schlussfolgerungen, die sich aus den dargebotenen bzw. zu antizipierenden Evidenzen ziehen lassen, differenzieren lassen (vgl. Kapitel IV). Zugleich zeigte sich, dass das unterschiedliche Ausmaß an Eindeutigkeit mit unterschiedlichen metakognitiven Anforderungen einherging, woraus die Beschäftigung mit dem Metawissensmodell und der Entwicklung epistemologischen Wissens nach Kuhn (vgl. Kapitel V) sowie die empirische Überprüfung einer zentralen Annahme der Modelle Kuhns resultierten (vgl. Kapitel VI, Studie 3).

Der Vorschlag, das SDDS-Modell als Entwicklungsmodell zu betrachten, sowie die Passung der Ergebnisse der drei Studien zum Stufenmodell der epistemologischen Entwicklung nach Kuhn legten nahe, diese beiden Modelle zu einem metakognitiven Entwicklungsmodell des wissenschaftlichen Denkens zu verbinden und durch einige Erkenntnisse aus den hier berichteten Studien zu erweitern. Im Folgenden wird ein Vorschlag zu einer theoretischen Verknüpfung beider Modelle beschrieben. Abbildung 1 zeigt eine Zusammenfassung des Vorschlags.

Abbildung 1: Theoretische Verknüpfung des SDDS-Modells mit dem Stufenmodell des epistemologischen Wissens



Das vorgeschlagene Modell beinhaltet drei Ebenen, auf denen für die Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens relevante Veränderungen stattfinden. Auf der Ebene der SDDS-Komponenten ist der bereits vorgeschlagene Entwicklungsverlauf von der Fähigkeit zur Interpretation eindeutiger Evidenzen über die Interpretation uneindeutiger Evidenzen und der etwa zeitgleich auftretenden beginnenden Fähigkeit, die Konklusivität eines Experimentes zu beurteilen, bis hin zur flexiblen Generierung und Adaptation von Hypothesen abgetragen. Es wird hierbei eine direkte Beziehung zwischen der Interpretation uneindeutiger Evidenzen und der flexiblen Hypothesengenerierung und –adaptation angenommen, weil die Fähigkeit, die Uneindeutigkeit der Evidenzen, die für eine Hypothese sprechen, überhaupt wahrzunehmen, eine notwendige Voraussetzung für eine flexible Hypothesenadaptation sein könnte. Ebenso scheint sinnvoll, eine Verbindung zwischen der Fähigkeit, uneindeutige Evidenzen wahrnehmen und bewerten zu können, und dem basalen Experimentierverständnis anzunehmen, weil erst dann verstanden werden kann, dass ein Experiment zur Schaffung einer größeren Eindeutigkeit dienen und daher konklusiv sein sollte. Dieses Verständnis wiederum könnte dazu führen, dass Hypothesen flexibler gehandhabt und den aus Experimenten gewonnen Evidenzen angepasst werden können, so dass eine Verbindung zwischen dem Experimentierverständnis und der Fähigkeit zur Hypothesengenerierung angenommen wird. Zwischen dem Experimentierverständnis und der Fähigkeit zur Generierung und Adaptation von Hypothesen könnte allerdings ebenso eine rückwirkende Verbindung sinnvoll sein, da sich die Fähigkeit, Hypothesen flexibel an den Stand der Evidenzen anzupassen, förderlich auf das Experimentierverständnis als Möglichkeit, zu eindeutiger belegbaren Hypothesen zu gelangen, auswirken könnte.

Die übergeordneten Ebenen des epistemologischen Wissens und der sozialen Interaktionen wurden teilweise dem Stufenmodell der epistemologischen Entwicklung nach Kuhn et al. (2000) entnommen, einige Komponenten stellen jedoch Resultate der Ergebnisse dieser Arbeit dar. Die absolutistische (ebenso wie die relativistische Stufe) der epistemologischen Entwicklung stammt aus dem Modell von Kuhn et al. und werden hier mit je einer der Komponenten des SDDS-Modells verknüpft. Aus der Interaktion mit Bezugspersonen lernen Kinder, dass die Überzeugungen Anderer nicht mit ihren eigenen Überzeugungen übereinstimmen müssen und falsch sein können, woraus sich zunächst eine absolutistische Weltsicht entwickelt (vgl. Kuhn, 2000). Auf dieser epistemologischen Stufe wird es möglich zu verstehen, dass es Sinn macht, den Wahrheitsgehalt einer Überzeugung zu prüfen. Hierdurch kommt es zu einem basalen Verständnis der Theorie-Evidenz-Relation, so dass es den Kindern möglich wird zu erkennen, dass Hypothesen auf Grundlage eindeutiger Evidenzen veränderbar sind (vgl. Kapitel II und III).

Kuhn et al. (2000) sahen als wichtigen epistemologischen Entwicklungsmeilenstein, um von der Stufe des Absolutisten zur Stufe des Relativisten zu gelangen, den Erwerb der interpretativen oder konstruktiven Theorie of Mind im Alter von etwa acht Jahren an (vgl. Carpendale & Chandler, 1996). Ab diesem Alter verstehen Kinder, dass zwei Personen unterschiedliche Überzeugungen über den gleichen Sachverhalt haben können, ohne dass eine von beiden falsch informiert ist und eine der beiden Überzeugungen damit falsch sein muss. Carpendale und Chandler untersuchten dies mit Hilfe von Kippbildern (z.B. eine Figur, die sowohl als Ente als auch als Kaninchen wahrgenommen werden kann) und mit Hilfe von Sätzen, die zwei Interpretationen ihres Inhalts zulassen (z.B. kann der englische Satz „the puppets waited for a ring“ bedeuten, dass die Puppen auf einen Telefonanruf oder auf ein Schmuckstück warten). Die Autoren zeigten, dass Kinder erst mit etwa acht Jahren unterschiedliche gleichermaßen legitime Interpretationen derselben Situation erkennen und diskutieren können, jüngere Kinder allerdings nicht.

Die Ergebnisse aus Studie 1 und 2 können diese Annahme ergänzen. Kuhn et al. (2000) machen ausschließlich die Angabe, dass der Erwerb der interpretativen Theory of Mind die epistemologische Entwicklung von der Stufe der Absolutisten zur Stufe der Relativisten vorantreibt. Insbesondere die Ergebnisse aus Studie 1 sprechen dafür, dass zwischen dem Erwerb des Verständnisses falschen Glaubens als Entwicklungsmeilenstein für die absolutistische Stufe und dem Erreichen der relativistischen Stufe weitere Entwicklungsmeilensteine eine Rolle spielen könnten. Kinder scheinen zwischen dem fünften Lebensjahr und der ersten Grundschulklasse eine zunehmende Sensibilität dafür zu entwickeln, ob Evidenzen eindeutige oder uneindeutige Schlussfolgerungen zulassen. Die Entwicklung des basalen Verständnisses dafür, dass Situationen nicht immer eindeutig interpretierbar sind, könnte der Entwicklung der interpretativen Theory of Mind im Alter von etwa acht Jahren vorausgehen. Während Carpendale und Chandler Materialien nutzten, in denen verschiedene Interpretationen gleichermaßen Gültigkeit besaßen, wurden in Studie 1 und 2 bei der Frage zur nicht perfekten Kovariation Evidenzen dargeboten, die nicht eindeutig, aber dennoch überwiegend für eine Hypothese sprachen. Letztere Anforderung bewältigten die Kinder im Laufe der Grundschulzeit zunehmend besser und zeigten in ihren falschen Antworten eine erkennbare Entwicklung in Richtung einer immer differenzierteren Wahrnehmung der Uneindeutigkeit der Situation. Möglicherweise ist zunächst die grundlegende Wahrnehmung, dass uneindeutige Evidenzen vorliegen, nötig, bevor Kinder mit Situationen umgehen können, in denen gleichermaßen gültige Interpretationen eines Sachverhalts vertretbar sind.

Ebenso wurde in Studie 1 auf Grundlage der falschen Antworten zur Frage zur nicht perfekten Kovariation ermittelt, dass die Kinder der ersten Klasse die Uneindeutigkeit der

Situation dichotom als „eindeutig uneindeutig“ zu bewerten scheinen. Sie entschieden sich häufiger als die Kinder der dritten und fünften Klasse für die Antwort, dass beide Kaugummisorten schlecht für die Zähne seien und man daher keine der Kaugummisorten eher für die schlechten Zähne verantwortlich machen könne, und berücksichtigten folglich die Menge an Evidenzen nicht (vgl. Kapitel II und IV). Es wurde angenommen, dass die älteren Kinder die Uneindeutigkeit der Evidenzen möglicherweise wahrnehmen, sich allerdings auf Grundlage der Menge an Evidenzen für oder gegen eine der beiden Hypothesen für eine der beiden Kaugummisorten entscheiden (vgl. Kapitel II und IV). Hieraus wurde abgeleitet, dass die älteren Grundschul Kinder möglicherweise bereits eine dimensionalere Vorstellung von Uneindeutigkeit besitzen.

Die Erweiterung der theoretischen Verknüpfung aus SDDS-Modell und dem Stufenmodell der epistemologischen Entwicklung nach Kuhn (1999, 2000) beinhaltet daraus folgend den Vorschlag für weitere Stufen, die den Übergang von der absolutistischen zur relativistischen Stufe beschreiben. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus Studie 1 wird im Alter von sechs bis sieben Jahren das Auftreten der ersten Zwischenstufe, der Stufe der dichotomen Wahrnehmung der Uneindeutigkeit von Informationen aus der Umwelt, angenommen. Auf dieser Stufe nehmen Kinder erstmals die Uneindeutigkeit von Evidenzen wahr, ordnen die Evidenzen allerdings nur in die Kategorien „eindeutig“ und „uneindeutig“ ein, ohne die Menge an Evidenzen zu berücksichtigen. Aus diesem Grund sind sie noch nicht dazu in der Lage, die nicht perfekte Kovariation richtig auf Hypothesen zu beziehen. Auf der epistemologischen Ebene betrachten Kinder diesen Alters Situationen als eindeutig oder uneindeutig, differenzieren aber nicht zwischen einem unterschiedlichen Ausmaß an Eindeutigkeit oder Uneindeutigkeit. Aufgaben zur interpretativen Theory of Mind (vgl. Carpendale & Chandler, 1996) werden zunehmend richtig gelöst, da ein immer sichererer Umgang mit Situationen, in denen mehrere Hypothesen belegbar und dadurch gleichermaßen „wahr“ sind, besteht.

Auf der zweiten Zwischenstufe, der Stufe der dimensionalen Wahrnehmung der Uneindeutigkeit von Informationen aus der Umwelt, wird die Evidenzmenge, die für oder gegen eine Hypothese spricht, berücksichtigt, so dass nicht perfekte Kovariationen interpretiert werden können. Das Verständnis dafür, dass auch die Evidenzmenge zur Entscheidung zwischen Hypothesen herangezogen werden sollte und die Eindeutigkeit bzw. Uneindeutigkeit, mit der Hypothese belegt werden kann, daher dimensional zu verstehen ist, könnte zu einer Verfestigung des entstehenden Experimentierverständnisses führen. Das basale Experimentierverständnis erfordert das Bewusstsein dafür, dass Experimente die Eindeutigkeit der Datenlage für oder gegen eine Hypothese erhöhen können. Möglicherweise hilft ein dimensionales Verständnis für die Uneindeutigkeit von Evidenzen ebenso hierfür.

Während auf der hier vorgeschlagenen Zwischenstufe der dichotomen Wahrnehmung der Uneindeutigkeit von Informationen aus der Umwelt eine Übergeneralisierung in dem Sinne vorliegt, als dass bei nur wenigen Evidenzen, die gegen eine Hypothese sprechen, die ganze Datenlage als uneindeutig bewertet wird, zeigte sich auf der von Kuhn et al. (2000) definierten Stufe des Relativismus eine Übergeneralisierung bei der Wahrnehmung der Uneindeutigkeit von Wissen oder Hypothesen. Indem angenommen wird, dass unterschiedliche Hypothesen einen gleichermaßen großen Wahrheitsgehalt aufweisen, wird die objektive Dimension des Wissens auf dieser Stufe vernachlässigt. Auf der Ebene der Komponente des Hypothesengenerierens des SDDS-Modells und insbesondere bei der Bearbeitung der Fantasetieraufgabe durch die Fünftklässler in Studie 1 könnte das Vorhandensein dieser epistemologischen Stufe von Vorteil gewesen sein. Wenn angenommen wird, dass Hypothesen grundsätzlich gleichwertig sind, fällt eine Hypothesenänderung aufgrund von hinzugefügten Evidenzen leichter, als wenn, wie auf der absolutistischen Stufe, von einer „richtigen“ Hypothese ausgegangen wird, der widersprüchliche Evidenzen ggf. untergeordnet werden müssen.

Als Entwicklungsmotoren, durch die das Voranschreiten von einer zur nächsten Stufe erfolgt, werden Merkmale sozialer Interaktionen vorgeschlagen. Dieser Vorschlag entstand aus den Befunden der Theory of Mind Forschung, die einen Einfluss sozialer Interaktionen auf den Erwerb des Verständnisses falschen Glaubens belegen (Hughes & Leekam, 2004; Lewis, Freeman, Kyriakidou, Maridaki-Kassotaki & Berridge, 2008; Sabbagh & Cailanan, 1998). Hieran angelehnt wird vorgeschlagen, dass die zunehmende Auseinandersetzung mit anderen Personen und der damit einhergehenden Konfrontation mit Uneinigkeiten, Konflikten und uneindeutigen Situationen zu einem vermehrten Verständnis uneindeutiger Evidenzen führen könnte. Die Erfahrung, dass einige dieser Uneinigkeiten und Konflikte nicht durch das Ermitteln einer eindeutigen „wahren“ Sachlage gelöst werden können, könnte das Voranschreiten der Entwicklung zur relativistischen epistemologischen Überzeugung bewirken.

Insbesondere die Annahmen zu den Entwicklungsmotoren auf der sozialen Ebene sind allerdings als rein spekulativ zu beurteilen. Mit Hilfe von Studie 3 wurde bisher lediglich ein prädiktiver Zusammenhang zwischen dem Verständnis falschen Glaubens auf der metakognitiven Ebene und dem basalen Experimentierverständnis auf der Ebene des SDDS-Modells nachgewiesen. Alle weiteren Verbindungen der vorgeschlagenen theoretischen Verknüpfung der Modelle wurden im Rahmen dieser Arbeit noch nicht untersucht. Die Verknüpfung wurde zwar auf Grundlage der Daten aus den drei Studien erstellt, begründet und erweitert, so dass der Rat von Conan Doyle (1892) befolgt und das Modell nicht ohne Rückgriff auf Evidenzen aufgestellt wurde. Das verknüpfte Modell als

Ganzes stellt aber bisher einen noch ungeprüften Vorschlag zur Anregung weiterer Forschungsarbeiten dar.

Vor dem Hintergrund dessen, dass diese theoretische Verknüpfung auf Grundlage der Ergebnisse dreier Studien vorgenommen wurde, deren Fragestellungen direkt aus den zwei der Verknüpfung zugrunde liegenden Modellen abgeleitet worden sind, erscheint es wenig überraschend, dass sich die Ergebnisse der Studien in die Verknüpfung einordnen lassen und diese ergänzen. Im Folgenden sollen daher Verbindungen zwischen den Ergebnissen der drei Studien, des vorgeschlagenen verknüpften Modells und den übergeordneten Theorien der kognitiven Entwicklung (vgl. Kapitel I) hergestellt werden. Es scheint sinnvoll, Parallelen und Verbindungen zwischen den Ergebnissen der drei Studien, dem SDDS-Modell, dem Stufenmodell der Entwicklung epistemologischen Wissens und der hier vorgeschlagenen Verknüpfung zu ziehen, um hieraus Vorschläge für weiterführende Forschungsarbeiten und zu Anwendungsfeldern zu ziehen (vgl. Kapitel VIII).

## 1.2 Einordnung der Ergebnisse in die Theorien der kognitiven Entwicklung

Eine Einordnung der Ergebnisse der drei Studien sowie der nachfolgenden theoretischen Überlegungen in die in Kapitel I dargestellten Theorien der kognitiven Entwicklung bringt zweierlei Schwierigkeiten mit sich. Zum einen liegen unterschiedliche Gegenstandsbereiche vor. Die Theorien der kognitiven Entwicklung beanspruchen, kognitive Entwicklung als Ganzes zu beschreiben und zu erklären, während sich das SDDS-Modell, das Stufenmodell des epistemologischen Wissens und die hier vorgeschlagene Verknüpfung der beiden Modelle ausschließlich auf die Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens als Kompetenzbereich beziehen. In Kapitel I.3 wurde dargestellt, dass sich die Forschung zum wissenschaftlichen Denken aus den theoretischen Ansätzen in Kapitel I.2 und aus der Metapher des „Kindes als Wissenschaftler“ heraus entwickelt hat. Es bestehen folglich Bezüge zwischen den Theorien der kognitiven Entwicklung und den Forschungsarbeiten, die sich auf die Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens beziehen (vgl. Kapitel I.3). Diese Verbindungen sind allerdings inzwischen eher als lose zu beschreiben.

Zum anderen muss bei einem Vergleich der Ergebnisse und theoretischen Überlegungen dieser Arbeit mit den Theorien der kognitiven Entwicklung beachtet werden, dass sich die grundlegenden Annahmen zum Erkenntnisgewinn des Menschen, die den Theorien der kognitiven Entwicklung zugrunde liegen, unterscheiden. Die Betrachtung der unterschiedlichen Grundannahmen zum Erkenntnisgewinn scheint vor dem Hintergrund des Untersuchungsgegenstandes dieser Arbeit, der Entwicklung des Verständnisses für die Methoden des Erkenntnisgewinns, bedeutsam. Unterschiedliche Grundannahmen zum Erkenntnisgewinn gehen häufig mit unterschiedlichen normativen Vorstellungen davon

einher, was „gutes“ wissenschaftliches Denken ausmacht, so dass sich sowohl Widersprüche in der Bewertung kindlicher Fähigkeiten als auch in der Bevorzugung bestimmter Untersuchungsmethoden ergeben.

Piagets Perspektive stammte aus dem Rationalismus und dem Konstruktivismus (Case, 1998). Rationalistische Ansätze der kognitiven Entwicklung besagen, dass die kognitive Entwicklung eine starke endogene Komponente hat, die von Zeit zu Zeit zu einer großen qualitativen Umstrukturierung des kindlichen Wissens beiträgt (Case, 1998). Nach Piaget stellen Äquilibrationsprozesse den Motor dieser großen qualitativen kognitiven Umstrukturierungen dar (vgl. Kapitel I.2.1.1). Piaget interessierte sich vor allem dafür, wie Kinder ihre Weltsicht „konstruieren“ und untersuchte vor allem die Erklärungen von Kindern für bestimmte Naturphänomene. Seine Vorgehensweise nannte er die „klinische Methode“. Sie bestand aus gezielten Fragetechniken hatte zum Ziel, die allgemeinen kognitiven Strukturen von Kindern verschiedener Altersgruppen zu beschreiben (Piaget, 1981). Im Laufe der letzten Jahrzehnte setzte sich im Forschungsfeld zur kognitiven Entwicklung allerdings eine empiristische Methodologie durch, die im Gegensatz zur rationalistisch-konstruktivistischen Vorgehensweise Piagets kognitive Prozesse auf einer weniger umfassenden Ebene fokussierte (Case, 1998). Dieser Tradition folgten die Theorien der Informationsverarbeitung (vgl. Kapitel I.2.1.4) und ebenso das aus dieser Tradition stammende SDDS-Modell (vgl. Kapitel I.4).

Kernwissenstheoretiker teilen die grundlegende Annahme, dass schon junge Kinder bereichsspezifische intuitive Theorien aufstellen, die die Kriterien wissenschaftlicher Theorien erfüllen (vgl. Kapitel I.2.2). Wird das Vorliegen der Merkmale wissenschaftlicher Theorien innerhalb der intuitiven Theorien als Kriterium für das Vorliegen von wissenschaftlichem Denken akzeptiert, lassen sich daher schon jungen Kindern Fähigkeiten als „kleine Wissenschaftler“ zuschreiben. Innerhalb der Theorien des Kernwissens besteht jedoch Uneinigkeit in Bezug auf die Frage, wie die intuitiven Theorien entstehen. Diese Uneinigheiten lassen sich auf das Vorliegen unterschiedlicher epistemologischer Grundannahmen zurückführen. Die Modelle des Expertiseerwerbs gehen auf den empiristischen Ansatz zurück und erklären kognitive Entwicklung durch eine graduelle Zunahme an Wissen durch Erfahrungen (z.B. Chi, 1976; Wellman & Gelman, 1998). Die Veränderungen intuitiver Theorien lassen sich nach diesem Ansatz durch die Zunahme von Wissen in wichtigen Inhaltsbereichen erklären. Sowohl die Ansätze der Modularitätstheorien als auch die Theorie-Theorie sind dagegen deutlich rationalistischer und konstruktivistischer ausgerichtet (Case, 1998). Beide Ansätze gehen ähnlich wie Piaget davon aus, dass Kinder bestimmte kognitive Grundlagen besitzen, die Piaget als bereichsübergreifende Strukturen bezeichnete, während die Modularitätstheorien und die Theorie-Theorie

bereichsspezifischen intuitiven Theorien und Informationsverarbeitungssystemen die zentrale Rolle in der kognitiven Entwicklung zugeschrieben. Diese kognitiven Grundlagen werden durch neue Erfahrungen modifiziert oder radikal restrukturiert, so dass qualitativ neuartige Theorien entstehen (Chomsky, 1988; Gopnik & Wellman, 1994).

Einen dritten epistemologisch vom Rationalismus und Empirismus abgrenzbaren Zugang wählten die soziokulturellen Theorien, deren Vertreter zunächst davon ausgingen, dass kognitive Entwicklung ausschließlich von den Merkmalen der Gesellschaft, in der ein Individuum aufwächst, geprägt wird (vgl. Luria 1982; Wygotsky, 1969). Folglich wurden besonders detailliert die soziale und kulturelle Umgebung eines Kindes betrachtet, während endogene konstruktive Prozesse und Merkmale der äußeren Umgebung jenseits sozialer Faktoren wenig Beachtung fanden. Neuere soziokulturelle Ansätze dagegen nehmen an, dass auch einige endogene Faktoren unabhängig von der sozialen Umwelt die kognitive Entwicklung beeinflussen. Tomasello (2006) schlug in Anlehnung an die Modularitätstheorien vor, dass es eine größere biologische Anpassung im Laufe der Evolution gegeben haben könnte, durch die ein neues Modul im Laufe der Evolution den Großteil der menschlichen Erkenntnisfähigkeiten hervorgebracht hat, das einzig im Verständnis Anderer als intentionale Wesen besteht (vgl. Kapitel I.2.3). In dieser neueren soziokulturellen theoretischen Ausrichtung wird damit zusätzlich zur Annahme des Einflusses sozial-interaktiver Faktoren auch eine endogene Basis der kognitiven Entwicklung angenommen.

Während Informationsverarbeitungstheoretiker zunächst einer stark empiristischen Vorgehensweise folgten und mit Hilfe von Techniken der Aufgabenanalyse detaillierte Beschreibungen kognitiver Prozesse vornahmen (z.B. Klahr, 1978), kombinierten spätere Informationsverarbeitungsansätze rationalistische Denkansätze mit den Methoden der Empiristen (z.B. Case, 1998). Insbesondere neopiagetianische Ansätze gingen ebenso wie Piaget von übergreifenden qualitativ unterschiedlichen Entwicklungsstadien aus, deren Fortschreiten jedoch durch eine Zunahme der Informationsverarbeitungskapazitäten beeinflusst wurde (vgl. Kapitel I.2.1.4; Case, 1999; Fischer, 1980).

Insgesamt zeigte sich im Laufe der letzten Jahrzehnte im Hinblick auf die Frage nach den Mechanismen der kognitiven Entwicklung eine allmähliche Annäherung der theoretischen Ansätze. Das SDDS-Modell stammt aus dem empiristischen Ansatz der Theorien der Informationsverarbeitung (vgl. Kapitel I.4) und beinhaltet dementsprechend eine genaue Beschreibung einzelner Informationsverarbeitungsprozesse innerhalb des wissenschaftlichen Erkenntnisprozesses. Das Stufenmodell des epistemologischen Wissens nach Kuhn dagegen scheint einer rationalistischen Grundannahme zu folgen, da von großen qualitativen Umstrukturierungen der kindlichen Weltsicht ausgegangen wird (vgl. Kapitel V). Ebenso mutet die in dieser Arbeit vorgeschlagene Verknüpfung aufgrund der Übernahme der

Stufenreihenfolge des epistemologischen Wissens zunächst rationalistisch an. Es wurde allerdings versucht, einerseits auf der Grundlage von Studie 3 Verknüpfungen zum soziokulturellen Ansatz herzustellen, und andererseits die Ergebnisse aus Studie 1 und 2, die aus dem SDDS-Modell und damit dem Informationsverarbeitungsansatz folgend entstanden sind, einzubeziehen.

Alle folgenden Überlegungen zur Einordnung der Ergebnisse in die in Kapitel I dargestellten Theorien der kognitiven Entwicklung müssen daher vor dem Hintergrund relativiert werden, dass eine vollständige Vergleichbarkeit nicht gegeben ist. Diese kann nicht gegeben sein, weil sich die aus verschiedenen epistemologischen Grundannahmen resultierenden Untersuchungsmethoden und auch die Interpretationen von Forschungsergebnissen deutlich unterscheiden. Insbesondere die häufig durch Vertreter anderer Theorierichtungen geäußerte Kritik an der Theorie Piagets, dass seine Altersangaben nicht mit den Ergebnissen späterer Forschungsarbeiten übereinstimmen (z.B. Baillargeon, 1987; Carey, 1985), scheint vor dem Hintergrund dessen, dass Piaget (1981) lediglich eine invariante Stufenfolge ohne genaue Altersnormen vorschlug, fraglich. Dennoch scheint die Herausarbeitung von Parallelen, aber auch von Unterschieden zwischen den Ergebnissen der drei Studien, dem SDDS-Modell, dem Stufenmodell der Entwicklung epistemologischen Wissens und der hier vorgeschlagenen Verknüpfung sinnvoll, um hieraus Vorschläge für weiterführende Forschungsarbeiten und für die Anwendung der Ergebnisse zu generieren (vgl. Kapitel VIII.1 und VIII.2) und um zu einer größeren Klarheit über die hier dargelegten Befunde zu den Kenntnissen von Kindern im bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denken zu gelangen.

Piagets Ergebnis, dass präoperatorische Kinder noch kein ausgereiftes Verständnis von zufälligen Ereignissen besitzen, ist mit den Ergebnissen von Studie 1, mit Einschränkungen mit den Ergebnissen von Studie 2 und ebenso mit den Befunden von Lagattuta und Sayfan (2011) vergleichbar. Piaget und Inhelder (1977) stellten fest, dass Kinder im präoperatorischen Stadium dann, wenn eine kleine Abweichung in den Ergebnissen von Experimenten entstand, die kausale Beziehung zwischen den fraglichen Variablen vollständig leugneten (vgl. Kapitel I.2.1.3). Dies war beispielsweise dann der Fall, wenn eine Kugel eine Rampe hinunterrollte und nicht immer an exakt der gleichen Stelle zum Liegen kam. Präoperatorische Kinder gaben in Piaget und Inhelders Versuchen nicht an, dass der Versuchsausgang „ungefähr“ oder „etwa“ der gleiche ist. Dieses Ergebnis stimmt mit den Ergebnissen zur Frage zur nicht eindeutigen Kovariation in Studie 1 überein. Die Kindergartenkinder in Studie 1 entschieden sich bei der Betrachtung uneindeutiger Evidenzen ohne Berücksichtigung der Anzahl der Evidenzen insgesamt auf Zufallsniveau für eine der beiden Hypothesen. Die Uneindeutigkeit der Evidenzen wurde bis zum Beginn des

Grundschulalters weitgehend nicht beachtet. In Studie 2 zeigte sich dieses Ergebnismuster bei den vierjährigen Kindern, nicht aber bei den Fünfjährigen, die diese Frage bereits zu etwa 75% richtig beantworten konnten (vgl. Kapitel III, Tabelle 1). Der Befund, dass Kindergartenkinder mit der Einordnung zufälliger oder uneindeutiger Evidenzen Schwierigkeiten haben, ließ sich somit durch Studien zweier verschiedener epistemologischer Hintergründe bestätigen. Ebenso scheint sich Piaget und Inhelders (1977) Annahme, dass präoperatorische Kinder die möglichen Ergebnisse eines Experimentes nicht antizipieren können, in Studie 1 und 2 zu bestätigen, da die Differenzierung des als konklusiv bezeichneten Experiments vom inkonklusiven Experiment den meisten Kindern erst ab Beginn des Grundschulalters gelang (vgl. Kapitel I.2.1.3).

Zum wissenschaftlichen Denken im Gesamten nahm Piaget an, dass es sowohl empirische als auch reflektierende Abstraktion erfordert (vgl. Kapitel I.2.1.3; Piaget, 1975). Die empirische Abstraktion beinhaltet das Ablesen von Ergebnissen. Die vollständige Interpretation von Ergebnissen vor dem Hintergrund der logisch-mathematischen Struktur des Versuchsaufbaus erfordert allerdings eine reflektierende Abstraktion, die von den Aktivitäten der Person, die den Versuchsaufbau erstellt hat, abhängt. Zum vollständigen Verständnis des Experimentierens ist es daher nötig, nicht nur mit Hilfe empirischer Abstraktion Ergebnisse abzulesen, sondern diese zusätzlich vor dem Hintergrund des Versuchsaufbaus reflektierend zu abstrahieren (Piaget, 1975). Dies ist nach Piaget erst auf der formal-operatorischen Stufe möglich. Piaget ging also davon aus, dass das Ablesen von Ergebnissen eine einfachere Erkenntnishandlung darstellt, die möglicherweise bereits vor dem Erreichen der formal-operatorischen Stufe erreicht werden kann, hält diese allerdings nicht für ausreichend, um wissenschaftliche Methoden anwenden zu können. Diese Annahmen sind insgesamt mit den Ergebnissen von Studie 1 und 2 vereinbar. Die Evidenzbewertung scheint bereits im Kindergartenalter möglich zu sein, während ein vollständigeres Verständnis wissenschaftlicher Methoden das Verständnis für Experimente und die flexible Hypothesengenerierung und –adaptation erfordert, die sich später zu entwickeln scheinen.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zur Entwicklung des Verständnisses für zufällige bzw. uneindeutige Ereignisse, zum Ablesen bzw. Bewerten von Evidenzen und zum noch weitgehend fehlenden Experimentierverständnis im Kindergartenalter bestätigten die Annahmen Piagets. Es könnte sich daher um recht sichere und replizierbare Befunde handeln. Aus diesem Grund werden im Rahmen von Kapitel VIII.2 insbesondere zur Anwendung dieser Ergebnisse Vorschläge diskutiert.

Allerdings scheint es, entgegen den Annahmen Piagets, bereits Grundschulkindern möglich zu sein zu erkennen, ob ein Experiment zu einem eindeutig interpretierbaren

Ergebnis führen wird oder nicht. Die Fähigkeit zu erkennen, ob ein Experiment zu einem eindeutig interpretierbaren Ergebnis führt, erfordert erste Kompetenzen in der von Piaget (1975) definierten reflektierenden Abstraktionsfähigkeit (vgl. Kapitel I.2.1.3). Obwohl eine Kritik an Piagets Theorie auf der Basis von unterschiedlichen Altersabschnitten, in denen sich eine Kompetenz entwickelt, aus oben genannten Gründen fraglich erscheint, deuten die Ergebnisse dieser Arbeit sowie Vorgängerstudien zur Fähigkeit zum Experimentieren (z.B. Bullock & Ziegler, 1999; Sodian et al., 1991) auf eine deutliche Unterschätzung der kindlichen Experimentierkompetenzen durch Piaget (1975) hin. Allerdings muss einschränkend hinzugefügt werden, dass Piaget (1975) annahm, dass Erkenntnishandlungen wie das Experimentieren von Kindern angewandt werden können, bevor sie bewusst verstanden werden (vgl. Kapitel I.2.1.3). Ein bewusstes ausgereiftes Verständnis für Experimentierstrategien, insbesondere für die Variablenkontrollstrategie, scheint im Grundschulalter noch nicht vorhanden zu sein (vgl. Bullock & Sodian, 2003), so dass sich möglicherweise kein direkter Widerspruch zwischen den Annahmen Piagets und den neueren Ergebnissen verzeichnen lässt.

Piagets Annahmen zur Entwicklung der reflektierenden Abstraktion müssen zusätzlich im Zusammenhang mit seinen Annahmen zur Entwicklung der kindlichen Fähigkeit, über das Denken nachzudenken, betrachtet werden. Piaget (1978) ging davon aus, dass sich metakognitives Wissen im Laufe der Kindheit ausdifferenziert und im präoperatorischen Stadium noch nicht weit ausgeprägt ist. Das präoperatorische Kind ist sich nicht bewusst, dass seine eigene Wahrnehmung subjektiv ist (Piaget 1972b; vgl. Kapitel I.2.1.2). Dies führte Piaget auf das Vorliegen des kindlichen Egozentrismus zurück (Piaget 1972a). Er unterschied in diesem Zusammenhang zwei Typen von Egozentrizitäten, eine logische und eine ontologische (Piaget, 1978). Mit logischer Egozentrizität ist die Fokussierung auf eine einzelne Dimension bei der Lösung logischer Probleme gemeint. Die Wahrnehmung präoperatorischer Kinder, dass die eigene Überzeugung die einzig mögliche ist, bezeichnete Piaget als ontologische Egozentrizität. Präoperatorische Kinder geben keine Beweise für ihre Aussagen an, weil sie nicht das Bedürfnis haben, andere zu überzeugen, da für sie die eigene Wahrheit die einzig mögliche ist: „Gleich wie sich das Kind seine Wahrheit schafft, schafft es sich auch seine Realität: Das Gefühl für den Widerstand der Dinge ist ebenso wenig ausgebildet, wie dasjenige für die Beweisschwierigkeiten.“ (Piaget, 1978, S. 156).

Piagets Beschreibung der ontologischen Egozentrizität präoperatorischer Kinder ähnelt der Beschreibung von Kindern auf der Stufe des Realisten nach Kuhn et al. (2000; vgl. Kapitel V). Ähnlich wie Piaget (1972a) gingen Kuhn et al. (2000) davon aus, dass sich das Kind durch die Interaktion mit Anderen seines eigenen Denkens zunehmend bewusst wird. Erst unter dem Druck der Diskussion mit Anderen kommt das Kind in die Situation, sich für

seine eigenen Ideen und Gedanken rechtfertigen zu müssen (Piaget, 1972a). Auf diese Art und Weise erreicht das Kind im Alter von etwa sieben Jahren auch ontologisch den konkret-operatorischen Zustand der Dezentrierung und will ab diesem Zeitpunkt logische Widersprüche vermeiden (Piaget, 1978). Dementsprechend sah Piaget (1974) im präoperatorischen Stadium keine Anzeichen „echter“ epistemologischer Erkenntnishandlungen.

Im Gegensatz zu den Annahmen Piagets (1972a) werden sich Kinder gemäß den Ergebnissen der Theory of Mind Forschung bereits im Alter von etwa vier Jahren der Unterschiede in den Überzeugungen verschiedener Personen bewusst und erwerben ein Verständnis falschen Glaubens, so dass aus heutiger Sicht nicht erst der Altersbereich von etwa sieben Jahren als entscheidend für die Bewusstwerdung von Denkprozessen angenommen wird (vgl. Wellman et al., 2001). Allerdings beobachtete Kuhn (1999), dass zwischen dem Erwerb des Verständnisses falschen Glaubens und der klaren Unterscheidungen zwischen Theorien und Evidenzen ein Zeitraum von etwa 2 Jahren liegt, so dass Kuhn erst sechsjährigen Kindern Fähigkeiten im wissenschaftlichen Denken zuschreibt. Dieses Ergebnis ist damit eher mit den Ergebnissen Piagets zur ontologischen Dezentrierung mit Beginn der konkret-operatorischen Phase ab etwa 7 Jahren vergleichbar (Piaget, 1978). Hierbei muss allerdings beachtet werden, dass bei den hierzu durchgeführten Experimenten Piagets sowie Kuhn et al.'s eine Konfundierung von inhaltsspezifischem Vorwissen und wissenschaftlicher Methode vorlag. Das experimentelle Design der Aufgaben Piagets und Kuhn et al.'s lud dazu ein, das Vorwissen anstelle der vorgelegten Evidenzen zur Lösung der Aufgaben zu nutzen. Die Ergebnisse von Studie 1 und 2 dieser Arbeit sowie die Ergebnisse von Ruffman et al. (1993) und Koerber et al. (2005) sprechen gegen die Annahme Kuhns (1999) und Piagets (1972a) und zeigten stattdessen, dass bei Verwendung vorwissensunabhängiger Untersuchungsparadigmen eine grundsätzliche Unterscheidung zwischen Theorien und Evidenzen bei Vorlage eindeutiger Daten bereits im Kindergartenalter möglich ist. Ein beginnendes Verständnis für wissenschaftliche Methoden im Sinne einer Differenzierung von Theorien und Evidenzen und daher auch für die Bewusstwerdung von Denkprozessen kann im Gegensatz zu den Annahmen Piagets bereits im Kindergartenalter festgestellt werden und wurde im verknüpften Modell berücksichtigt. Auch hier muss berücksichtigt werden, dass Piaget (1978) annahm, dass in der gesamten präoperatorischen Phase ein Dezentrierungsprozess stattfindet (vgl. Kapitel I.2.1.2). Piaget ging lediglich davon aus, dass der gesamte Dezentrierungsprozess im Alter von etwa sieben Jahren abgeschlossen ist. Dies schließt nicht aus, dass Kinder in bestimmten Kontexten und unter bestimmten Bedingungen zu einem früheren Zeitpunkt den Zustand der Dezentrierung

erreichen können (Piaget, 1983; vgl. Kapitel I.2.1.1). Auch hier ergibt sich daher kein direkter Widerspruch zu Piagets Theorie.

Piagets und Inhelders (1973b) Annahmen zur Entwicklung der retroaktiven Flexibilität im Laufe der präoperatorischen Phase können auf die Ergebnisse der Fantasietieraufgabe in Studie 1 bezogen werden. Piaget ließ Kinder Gegenstände in Kategorien sortieren, untersuchte ihre Zuordnungskriterien und die Frage, inwiefern bereits hierarchische Inklusionen vorgenommen werden können (vgl. Kapitel I.2.1.2). Er beobachtete, dass Kinder erst ab Beginn der konkret-operatorischen Stufe im Vorhinein Zuordnungskriterien entwerfen und auf Anweisung selbige verändern können. Die Ergebnisse der Fantasietieraufgabe in Studie 1 zeigten dagegen, dass die Grundschul Kinder Schwierigkeiten damit hatten, ihre Hypothesen an die sukzessiv hinzugefügten Evidenzen zu adaptieren und damit bewusst Zuordnungskriterien zu variieren (vgl. Kapitel II). Allerdings ist zu beachten, dass sich die Anforderung der Fantasietieraufgabe von den Anforderungen der Zuordnungsaufgaben Piagets und Inhelders (1973b) unterschied. Piaget gab den Kindern direkte Anweisungen, das Zuordnungskriterium zu ändern, während in der Fantasietieraufgabe keine Anweisungen gegeben wurden. Stattdessen sollten die Kinder die Notwendigkeit der Veränderung des Kriteriums, das für entscheidend für die Zugehörigkeit zu einer Tierfamilie gehalten wurde, selbst entdecken. Trotz der augenscheinlichen Parallelität der Zuordnungsaufgaben Piagets und der Fantasietieraufgabe unterscheiden sich daher die Anforderungen der Kinder in bedeutsamem Ausmaß im Hinblick auf ihre metakognitiven Implikationen. Um selbstständig eine Veränderung des Zuordnungskriteriums vorzunehmen, ist es nötig, den bisherigen Hypothesengenerierungs- und adaptationsprozess bewusst zu reflektieren und alle bisherigen Evidenzen in die neue Hypothese einzubeziehen. Diese bewusste Reflektion entfällt, wenn eine Veränderung des Zuordnungskriteriums durch den Versuchsleiter vorgenommen wird. Dass die Fantasietieraufgabe bei näherer Betrachtung eine bewusstere Reflektion von Denkprozessen erfordert und damit höhere metakognitive Anforderungen stellt als das Untersuchungsparadigma Piaget und Inhelders (1973b), spiegelt die Unterschiede in den Gegenstandsbereichen wider, die mittels der Aufgabentypen untersucht werden sollten. Während die Fantasietieraufgabe zur spezifischen Erfassung einer Komponente des wissenschaftlichen Denkens konstruiert wurde, strebten Piaget und Inhelder (1973b) die Erfassung logischer Strukturen an. Diese Konstrukte sind nicht vollständig deckungsgleich und unterscheiden sich deutlich auf der Ebene metakognitiver Anforderungen.

Die Auswertung der Aufgabe zum basalen Experimentierverständnis (Mausaufgabe) wurde vor dem Hintergrund der neopiagetianischen Theorie der Informationsverarbeitung von Case (1999) hergeleitet. Nach Case weisen kognitive Prozesse immer die Struktur des

Problemlösens und damit eine exekutive Kontrollstruktur auf (vgl. Kapitel I.2.1.4). Die exekutive Kontrollstruktur besteht aus der Repräsentation der Ausgangssituation, der Repräsentation des Ziels und den Strategien zur Zielerreichung. Die Lösung der Mauseaufgabe erfordert die Repräsentation der Ausgangssituation als uneindeutig (es ist unklar, ob die Maus groß oder klein ist) und die Repräsentation des Ziels als die Schaffung von Eindeutigkeit in Bezug auf die Größe der Maus. Das Aufstellen des Hauses mit der kleinen Tür muss als Strategie zur Erreichung dieses Ziels repräsentiert werden. Im Falle einer falschen Lösung der Mauseaufgabe kommen damit drei mögliche Ursachen in Frage. Es könnte sein, dass bei Nichtlösung der Aufgabe die Ausgangssituation nicht als uneindeutig wahrgenommen, das Ziel nicht als Schaffung von Eindeutigkeit repräsentiert und/ oder das Aufstellen des Hauses mit der kleinen Tür nicht als Strategie zur Schaffung von Eindeutigkeit verstanden worden ist. Durch die Verwendung von Kontrollfragen zu Beginn der Mauseaufgabe wurde sichergestellt, dass die Ausgangssituation als uneindeutig im Hinblick auf die Größe der Maus wahrgenommen wurde (vgl. Kapitel II.3 und III.3). Die Ergebnisse der Kindergartenkinder bei der Beantwortung der Fütterfrage im Vergleich zur Experimentierfrage in Studie 1 und 2 zeigten, dass die Kinder wesentlich häufiger die Fütterfrage als die Experimentierfrage richtig beantworteten (vgl. Kapitel II, Tabelle 4; Kapitel III, Tabelle 7). Dies zeigt, dass viele Kinder das Ziel noch nicht klar als Schaffung von Eindeutigkeit repräsentierten, sondern schlicht die Maus füttern wollten. Die Aufgabe sollte jedoch das basale Verständnis für Experimentierstrategien zu erfassen und nicht in erster Linie das von den Kindern bevorzugte Handlungsziel. Um zu einem Maß für die Nutzung einer Strategie zur Schaffung von Eindeutigkeit zu gelangen, wurde im Gegensatz zur Studie von Sodian et al. (1991) das kombinierte Maß aus Fütter- und Experimentierfrage herangezogen (vgl. Kapitel II.3 und III.3). Dieses Maß gibt an, ob die Kinder sich zugunsten der kritischen Hypothesenprüfung vom Ziel lösen können, die Maus zu füttern. Die Betrachtung der Mauseaufgabe vor dem Hintergrund der Theorie von Case (1999) führte daher zur Auswahl eines Gesamtmaßes. Im Rahmen von Kapitel VII.2.2.2 soll die Auswahl dieses Maßes kritisch reflektiert werden.

Die Entwicklungsmotoren, die im Rahmen des verknüpften Modells angenommen werden und das Fortschreiten von einer Stufe auf die nächst höhere erklären sollen, unterscheiden sich von denen Piagets. Piaget (1976) nahm an, dass neben der Reifung des Nervensystems, der Erfahrungen des Kindes und seiner sozialen Interaktionen noch Äquilibrationsprozesse hinzukommen müssen, um die kognitive Entwicklung erklären zu können. Äquilibrationsprozesse sind innere Ausgleichsprozesse im Sinne einer Selbstregulierung, die durch die Auseinandersetzung mit Störungen oder Ungleichgewichten und das darauf folgende Wechselspiel aus Assimilation und Akkomodation zustande

kommen (Piaget, 1981; vgl. Kapitel I.2.1.1). Wenn Ungleichgewichte nicht mehr in das bestehende kognitive System integriert werden können, kommt nach Piaget (1976) ein Akkomodationsprozess zustande und ein neuer, verbesserter Gleichgewichtszustand, eine „majorierende Äquilibration“, stellt sich ein. Piaget hielt folglich einen endogenen Mechanismus des Ausgleichs für entscheidend für das Voranschreiten kognitiver Entwicklung. Demgegenüber werden im verknüpften Modell sozial-interaktive Faktoren als Entwicklungsmotoren des wissenschaftlichen Denkens angenommen. Im Kontext der Theorie Piagets könnte die Veränderung der kognitiven Erkenntnismöglichkeiten des Kindes in Reaktion auf sozial-interaktive Umwelterfahrungen allerdings ebenso als Äquilibrationsprozess interpretiert werden. Im verknüpften Modell wird angenommen, dass das Verständnis falschen Glaubens aus der Interaktion mit Bezugspersonen entsteht und erste Kompetenzen im Bereich der Evidenzbewertung ermöglicht (vgl. Kapitel VII.1.1.1). Gemäß Piaget könnte die Auseinandersetzung mit Situationen, in denen sich die Überzeugung einer anderen Person als falsch herausstellt, zu Störungen oder kognitiven Ungleichgewichten führen, die nicht assimiliert werden können und dadurch die Entstehung einer neuen kognitiven Struktur, dem neuen epistemologischen Niveau des Absolutisten, erfordern (vgl. Kapitel I.2.1.1). Diese Ausbildung einer neuen Struktur könnte im Rahmen der Theorie Piagets als Akkomodation und der gesamte Prozess als majorierende Äquilibration bezeichnet werden, wobei sie sich in diesem Fall auf einen begrenzten Bereich der kognitiven Entwicklung bezieht. In ähnlicher Weise könnten die Konfrontation mit Uneinigkeit und mit der Unlösbarkeit einiger Uneinigkeiten und Konflikte im Kontext der Theorie Piagets als Situationen interpretiert werden, in denen Prozesse der majorierenden Äquilibration durch die daraus entstehenden Ungleichgewichte angeregt werden.

Obwohl die im verknüpften Modell angenommenen Entwicklungsmotoren im Rahmen der Theorie Piagets interpretierbar wären, beinhalten sie jedoch Annahmen, die über die Theorie Piagets hinausgehen. Die dargestellten Entwicklungsmotoren beinhalten ausschließlich sozial-interaktive Faktoren. Es wird im verknüpften Modell basierend auf den Ergebnissen von Studie 3 und den theoretischen Annahmen Kuhns (vgl. Kapitel V) angenommen, dass nicht die Auseinandersetzung mit (natur)wissenschaftlichen Methoden, Materialien und Inhalten allein zu einem Fortschreiten in der Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens führt, sondern dass die Entwicklung epistemologischen Wissens in bedeutsamen Ausmaß auf sozial-interaktive Einflüsse zurückgeht. Diese Hypothese steht im Gegensatz zur Theorie Piagets, in der eher die Auseinandersetzung mit Gegenständen für entscheidender gehalten wurde, und ebenso im Gegensatz zu Ansätzen, in denen die inhaltliche Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen Phänomenen als Entwicklungsmotoren betont werden (Lück, 2004; Sodian, Thoermer, Kircher, Grygier, & Günther, 2002). Stattdessen wird im

verknüpften Modell der Annahme Wygotskys (1969) und Tomasellos (2006) gefolgt, dass sozial-interaktive Faktoren die kognitive Entwicklung und insbesondere das wissenschaftliche Denken in entscheidendem Maße beeinflussen. Im Gegensatz zur Theorie von Case (1999) werden zunächst keine Problemlösungs- oder Explorationstendenzen angenommen, obwohl die Bedeutung dieser Faktoren in zukünftigen Studien ebenfalls zu prüfen wäre (vgl. Kapitel VIII.1).

Die Ergebnisse von Studie 3 bestätigten die Hypothese, dass das Verständnis falschen Glaubens das basale Experimentierverständnis vorhersagen kann. Zusätzlich wurde im Rahmen von Studie 3 noch eine weitere Vermutung geprüft, die sich auf die Rolle der Sprache bei der Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens bezieht. Wygotsky (1969) nahm an, dass Kinder erst über soziale Interaktionen das Sprechen lernen und anschließend mit sich selbst sprechen, um schlussendlich die verinnerlichte Sprache nicht mehr nur zur Kommunikation, sondern auch zur Selbstregulation von Denkprozessen nutzen zu können (vgl. Kapitel I.2.3). Im Kontext der mikrogenetischen Studien zum wissenschaftlichen Denken von Klahr (2000) sowie Schauble (1990, 1996) wurde berichtet, dass Versuchspersonen, die die Funktionsweise einer Taste eines Roboters erkunden sollten, ihre eigenen Denkprozesse sprechend regulierten (vgl. Kapitel I.4). Die Versuchspersonen verbalisierten ihre Hypothesen, experimentierten anschließend mit der Taste, verbalisierten wiederum die Ergebnisse ihrer Versuche sowie deren Beziehung zu ihren vorherigen Hypothesen, und äußerten neue Hypothesen auf Grundlage ihrer Versuche (Klahr, 2000). Eine Beteiligung der Versprachlichung von Denkprozessen, ähnlich wie von Wygotsky (1969) beschrieben, scheint daher insbesondere beim erfolgreichen wissenschaftlichen Denken von Bedeutung zu sein, so dass in Studie 3 ebenfalls Sprachmaße zum Einsatz kamen. In Studie 3 zeigte sich allerdings kein signifikanter prädiktiver Zusammenhang zwischen den Sprachmaßen und dem basalen Experimentierverständnis (vgl. Kapitel VI.3). In der Studie wurden allerdings lediglich ein globaler expressiver Wortschatztest und ein Grammatikmaß verwendet (vgl. Kapitel VI.2), so dass die Verbalisierung von Denkprozessen nicht direkt erfasst wurde. Auf Basis des nichtsignifikanten Zusammenhangs zwischen der Sprache und dem basalen Experimentierverständnis sollte daher ein möglicher Einfluss sprachlicher Kompetenzen auf das wissenschaftliche Denken nicht ausgeschlossen werden. Zunächst sprechen die Ergebnisse von Studie 3 jedoch dafür, dass die Entwicklung des Verständnisses falschen Glaubens enger mit der Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens verknüpft sein könnte als die sprachlichen Kompetenzen der Kinder.

Das verknüpfte Modell beinhaltet mit dem SDDS-Modell einen Ansatz, in dem wissenschaftliches Denken als eine Kombination aus bereichsübergreifender Strategienutzung und bereichsspezifischem Wissen betrachtet wird, und mit dem

Stufenmodell des epistemologischen Wissens nach Kuhn et al. (2000) ein Modell, das das bereichsübergreifende epistemologische Wissen von Kindern beschreiben soll. Zusätzlich werden sozial-interaktive Faktoren in Anlehnung an den soziokulturellen Ansatz für bedeutsam gehalten. In den Studien der vorliegenden Arbeit wurde ausschließlich das bereichsübergreifende wissenschaftliche Denken untersucht. Es stellt sich daher abschließend die Frage, ob das verknüpfte Modell für sich beansprucht, die Entwicklung des bereichsübergreifenden oder bereichsspezifischen wissenschaftlichen Denkens zu beschreiben (vgl. Kapitel I.3).

Bei der Beantwortung dieser Frage ist zunächst interessant, dass Kuhn et al. (2000) das Verständnis falschen Glaubens als Entwicklungsmeilenstein für das epistemologische Stadium des Absolutisten betrachteten. Die Autoren sahen das wissenschaftliche Denken als fortgeschrittene Theory of Mind Leistung an und betrachteten damit das metakognitive und das epistemologische Wissen als Ausprägungen derselben Kompetenz. Das Verständnis falschen Glaubens wurde bisher von Kernwissenstheoretikern im Rahmen der Entwicklung der intuitiven Theorien der Psychologie, der Theory of Mind, untersucht (vgl. Kapitel I.2.2), deren theoretische Annahmen besagen, dass das bereichsspezifische inhaltliche Vorwissen den Motor kognitiver Veränderungen darstellen. Die Theorien des Kernwissens gelten daher als bereichsspezifische Theorien der kognitiven Entwicklung (vgl. Kapitel I.3). Kuhn et al. (2000) integrierten mit der Annahme, das Verständnis falschen Glaubens stelle einen Entwicklungsmeilenstein für die Stufe des Absolutisten dar, eine Fähigkeit, die ausschließlich im Rahmen bereichsspezifischer Theorien untersucht worden ist, in eine bereichsübergreifende Theorie des epistemologischen Wissens. Die Subkompetenzbereiche des Inhaltswissens und des Erwerbs von allgemeinem epistemologischem Wissen wurden damit verknüpft. Diese Verknüpfung wurde im Rahmen von Studie 3 empirisch bestätigt und wird im verknüpften Modell aufgegriffen. Das verknüpfte Modell kann daher einerseits auf der Ebene einzelner Bestandteile als integratives Modell mit Bestandteilen aus dem bereichsspezifischen ebenso wie dem bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denken betrachtet werden.

Andererseits berücksichtigt das verknüpfte Modell keinerlei Gemeinsamkeiten oder Unterschiede in der Entwicklung verschiedener wissenschaftlicher Inhaltsbereiche. Im Rahmen einer ersten Studie von Kuhn und Park (2005) zeigte sich, dass die Entwicklung der epistemologischen Stufen nach Kuhn et al. (2000) in Abhängigkeit des Inhaltsbereichs unterschiedlich schnell verläuft. Es ergab sich zwar eine invariante Abfolge der von Kuhn et al. (2000) angenommenen Stufen, wobei die Übergänge von einer Stufe zur nächst höheren je nach Inhaltsbereich unterschiedlich lang anzudauern schienen. Dieses Ergebnis, dass eine möglicherweise invariante Stufenfolge durch den Einfluss inhaltsspezifischer Merkmale

in verschiedenen Domänen relativiert werden muss, ähnelt der Beobachtung der „horizontalen Verschiebungen“ durch Piaget (1983). Der Einfluss inhaltlichen Wissens in bereichsspezifischen Domänen sollte daher nicht unterschätzt werden und müsste in zukünftigen Modellen des wissenschaftlichen Denkens differenzierter berücksichtigt und einbezogen werden (vgl. Kapitel VII.2.1).

Das verknüpfte Modell ist daher in dem Sinne als bereichsübergreifend zu bezeichnen, als dass es die Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens im Gesamten zu beschreiben versucht und grundsätzlich in verschiedenen Inhaltsbereichen anwendbar sein könnte. Das Modell impliziert, dass sich das epistemologische Wissen auf das Verständnis der Komponenten des SDDS-Modells auswirkt, die gemeinsam mit dem epistemologischen Wissen für die Kenntnisse und das Verständnis innerhalb verschiedener Inhaltsbereiche von Bedeutung sein könnten. Insofern dominiert im Modell eine bereichsübergreifende Sichtweise, was sich aus den Ursprüngen der im Modell verbundenen Modelle und dem bereichsübergreifenden Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit erklärt.

## 2. Kritische Auseinandersetzung

---

Die Interpretation der Ergebnisse der Studien und des verknüpften Modells führten zu Ideen zur kritischen Auseinandersetzung. Im Folgenden werden zunächst das verknüpfte Modell sowie die theoretischen Annahmen der vorliegenden Arbeit reflektiert, bevor anschließend die in den Studien verwendeten Methoden hinterfragt werden.

### 2.1 Kritische Reflexion der theoretischen Annahmen

---

Das verknüpfte Modell wurde zwar auf der Grundlage der Ergebnisse der drei Studien formuliert, allerdings wurde das Modell als Ganzes und fast alle Verbindungen innerhalb des Modells bisher nicht geprüft (vgl. Kapitel VII.1.1.1). Studie 3 lieferte lediglich Hinweise auf den im Modell angenommenen prädiktiven Zusammenhang zwischen dem Verständnis falschen Glaubens und dem basalen Experimentierverständnis. Es fehlen jedoch empirische Überprüfungen der Verbindungen auf der Ebene der SDDS-Komponenten sowie der meisten Verknüpfungen zwischen SDDS-Komponenten und epistemologischem Wissen. Die Entwicklungsreihenfolge der SDDS-Komponenten lag lediglich auf Grundlage der Ergebnisse von Studie 1 und 2 nahe, wurde aber nicht längsschnittlich überprüft. Insbesondere die Annahmen zu den Entwicklungsmotoren auf der sozialen Ebene sind als spekulativ zu bewerten, da sie in die Studien dieser Arbeit nicht einbezogen worden sind. Das verknüpfte Modell geht folglich deutlich über die Ergebnisse und die Designs der

Studien hinaus, so dass die empirische Fundierung des Modells insgesamt als unzureichend beurteilt werden muss.

Die Diskussion eines Modells auf theoretischer Ebene erfordert zunächst die Festlegung von Kriterien, anhand derer sich eine solche Reflexion orientieren kann. Neben der empirischen Verankerung, die im verknüpften Modell nur teilweise gegeben ist, stellt die Überprüfbarkeit der aus den Modellen resultierenden Hypothesen ein wichtiges Kriterium wissenschaftlicher Modelle dar. Die Überprüfbarkeit eines Modells kann u.a. durch widerspruchsfreie und explizite Begriffe, über deren Bedeutung Einigkeit herrscht, sichergestellt werden (Aspendorpf, 2007). Im verknüpften Modell werden sozial-interaktive Faktoren als Entwicklungsmotoren vorgeschlagen. Diese wurden jedoch sehr allgemein und unkonkret beschrieben. Insbesondere die Annahme, dass sich das Verständnis falschen Glaubens durch die Interaktion mit Bezugspersonen entwickelt, scheint eine nur wenig konkrete Annahme darzustellen, so dass Uneinigkeit über die Bedeutung dieser Aussage herrschen könnte. Wenn über zentrale Begriffe eines Modells Uneinigkeit herrscht, ist eine Überprüfung des Modells nur schwer möglich, u.a. da es zu unterschiedlichen Operationalisierungen des unklaren Begriffs und dadurch zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen könnte, die dann nicht eindeutig auf die im Modell angenommenen Faktoren zurückgeführt werden können. Die wenig konkrete Formulierung der sozial-interaktiven Entwicklungsmotoren stellt damit einen Schwachpunkt des Modells dar.

Jedoch scheint innerhalb der Forschungsrichtung zur Entwicklung der Theory of Mind keine Einigkeit darüber zu bestehen, welche Aspekte sozialer Interaktionen genau die Entwicklung des Verständnisses falschen Glaubens befördern. Seit einiger Zeit wird in diesem Zusammenhang die mütterliche „mind-mindedness“, d.h. die Gewohnheit der Mutter, auf das Verhalten ihres Säuglings oder Kleinkindes mit Kommentaren zu seinen Denkprozessen wie Wünsche, Überzeugungen oder Intentionen zu reagieren, als Prädiktor des Verständnisses falschen Glaubens diskutiert (Fonagy, Gergely, & Target, 2007; Meins, Fernyhough, Wainwright, Das Gupta, Fradley & Tuckey, 2003). Allerdings scheint die Befundlage bisher noch nicht eindeutig dafür zu sprechen, dass ausschließlich diese Variable von Bedeutung sein könnte (Carpendale & Lewis, 2006). Dadurch war es gemäß der aktuellen Befundlage nicht möglich, eine präzise Angabe zu den relevanten Faktoren interpersonaler Interaktion zu machen, durch die das Verständnis falschen Glaubens beeinflusst wird.

Die weiteren sozial-interaktiven Faktoren, die im verknüpften Modell als Entwicklungsmotoren vorgeschlagen werden, beinhalten dagegen etwas explizitere und konkretere Begrifflichkeiten. Es wird angenommen, dass die Konfrontation mit Uneinigkeiten, Konflikten und uneindeutigen Situationen zu einem vermehrten Verständnis uneindeutiger

Evidenzen führen könnte. Eine weitere Annahme besteht darin, dass die Erfahrung, dass einige dieser Uneinigkeiten und Konflikte nicht durch das Ermitteln einer eindeutigen „wahren“ Sachlage gelöst werden können, das Voranschreiten der Entwicklung zur relativistischen epistemologischen Überzeugung bewirkt. Obwohl auch diese Annahmen im Rahmen dieser Arbeit nicht überprüft wurden, scheinen sie empirisch eher prüfbar zu sein, da sie sich auf konkrete Typen sozialer Interaktionen beziehen. Die Formulierung dieser beiden Faktoren ist daher etwas konkreter und überprüfbarer gelungen.

Auf der Ebene des epistemologischen Wissens wurden die von Kuhn (1999, 2000) und Kuhn et al. (2000) beschriebenen Stadien des Absolutisten und des Relativisten übernommen. Kuhn et al. (2000) definierten das Verständnis falschen Glaubens als Entwicklungsmeilenstein für die Stufe des Absolutisten, führten aber keinen vergleichbaren Indikator für die Stufe des Relativisten an. Zur Operationalisierung der Stufe des Relativisten wurden von Kuhn et al. (2000) sowie Kuhn und Park (2005) Vignetten genutzt. Ein Beispiel für eine solche Vignette war „Zu vielen sozialpolitischen Themen, wie z.B. die Todesstrafe, hat jeder seine persönliche Meinung. Es gibt keinen Grund zu glauben, dass manche Meinungen besser sind als andere. Deshalb macht es keinen Sinn, wenn Leute darüber diskutieren oder streiten. Stimmt Du zu, bist Du Dir nicht sicher, oder stimmst Du nicht zu? Wenn nicht: Was glaubst Du?“ (Kuhn & Park, 2005). Die Zustimmung zu diesem Item wurde von Kuhn und Park als Indikator für das Vorliegen der Stufe des Relativisten interpretiert. Kuhn und Park nutzten daher zur Überprüfung des Vorliegens der Stufe des Relativisten eine grundlegend andere Methode als zur Überprüfung des Vorliegens der Stufe des Absolutisten. Wünschenswert wäre jedoch eine für alle Altersgruppen nutzbare gleichartige Untersuchungsmethode, weil bei Verwendung unterschiedlicher Untersuchungsmethoden unklar bleibt, ob vergleichbare Aspekte des epistemologischen Verständnisses gemessen wurden. Die Vignettenmethode ist eine indirekte Methode zur Verhaltensmessung, während Aufgaben zum Verständnis falschen Glaubens direkte Verhaltensmaße darstellen. Bei sehr jungen Kindern ist es fraglich, ob analog zu den älteren Kindern indirekte Methoden, z.B. in Form von vereinfachten Vignetten, angewandt werden könnten. Ebenso scheint es bei älteren Kindern schwierig, analog zu den Aufgaben zum Verständnis falschen Glaubens direkte Verhaltensmaße zu finden. Das Modell zum epistemologischen Wissen nach Kuhn et al. (2000) ist daher möglicherweise nur eingeschränkt empirisch prüfbar.

Ein weiterer Kritikpunkt am verknüpften Modell bezieht sich auf die empirische Fundierung der im Rahmen des Modells vorgeschlagenen Zwischenstufen. Beide Zwischenstufen wurden auf Grundlage der Ergebnisse von Studie 1 abgeleitet und stellen damit einerseits empirisch fundierte Elemente des Modells dar. Andererseits ist das Ausmaß der empirischen Fundierung zu hinterfragen. In Studie 2 ließ sich nicht in gleicher Weise wie

in Studie 1 eine dichotome Wahrnehmung der Uneinigkeit von Informationen im Alter von etwa sechs Jahren nachweisen (vgl. Kapitel IV). Das Vorhandensein dieser und der dimensionalen Zwischenstufe wurden ausschließlich aus dem Antwortverhalten der Kinder auf die Frage zur nicht perfekten Kovariation und zur Experimentieraufgabe (Mausaufgabe) in Studie 1 abgeleitet. Zudem ist noch zu klären, in welcher Beziehung die Entwicklung der interpretativen Theory of Mind zu den beiden Zwischenstufen steht. Es ist bisher unklar, ob die Entwicklung einer interpretativen Theory of Mind eine Vorläuferkompetenz für eine der beiden Zwischenstufen darstellt, auf eine der beiden Zwischenstufen folgt, oder in keinerlei Beziehung zu den Zwischenstufen steht. Innerhalb des Modells ist die Platzierung dieses Elements daher als vorläufig zu betrachten. Die interpretative Theory of Mind wurde zunächst gemäß des von Carpendale und Chandler (1996) beschriebenen ungefähren Altersbereichs, in dem sie sich entwickelt, in das Modell eingefügt. Außerdem schien es aus theoretischer Sicht sinnvoll, dass eine dichotome Wahrnehmung der Uneindeutigkeit von Informationen die Entwicklung der Fähigkeit begünstigen könnte, vollständig uneindeutiges Material als uneindeutig interpretieren zu können, bevor sich eine differenziertere dimensionalere Wahrnehmung der Uneindeutigkeit von Informationen entwickelt (vgl. Kapitel VII.1.1.1). Diese Annahmen sind grundsätzlich empirisch prüfbar und könnten in zukünftigen Studien untersucht werden.

Auf der Ebene des SDDS-Modells ist anzumerken, dass die Autoren dieses nie als Entwicklungsmodell betrachtet haben (vgl. Klahr & Dunbar, 1988). Die SDDS-Komponenten wurden in Studie 1 erstmals explizit getrennt voneinander untersucht. Vorherige Studien betrachteten häufig eine der drei Komponenten, bezeichneten diese jedoch als Indikatoren für das wissenschaftliche Denken, ohne eine explizite Unterscheidung in verschiedene Komponenten zu treffen (vgl. Kapitel I.4). Die Verbindungen zwischen den Komponenten des SDDS-Modells sowie der Entwicklungsverlauf basiert auf den empirischen Ergebnissen der drei Studien und erfüllen das Kriterium der Überprüfbarkeit, da die Komponenten eindeutig definiert und operationalisierbar sind und die Verbindungen in einem längsschnittlichen Design falsifiziert werden könnten. Allerdings basiert der vorgeschlagene Entwicklungsverlauf bisher ausschließlich auf wenigen empirischen Ergebnissen. Eine theoretische Fundierung im Sinne einer übergeordneten Entwicklungstheorie, die das Auftreten der Komponenten in genau dieser Reihenfolge erklären, lag bisher nicht vorher. Im Rahmen des verknüpften Modells wird durch die Verbindung mit den Stufen des epistemologischen Wissens der Versuch einer Erklärung der vorgeschlagenen Entwicklungsreihenfolge unternommen, allerdings ist unklar, inwiefern die Stufen des epistemologischen Wissens tatsächlich einen Erklärungswert für das erstmalige Auftreten von Evidenzbewertungs-, Experimentier- oder Hypothesengenerierfähigkeiten besitzen.

Das verknüpfte Modell weist ähnlich wie die Theorie Piagets und die Theorie der Entwicklung epistemologischen Wissens nach Kuhn (1999, 2000) auf allen Ebenen eine Stufenstruktur auf. Unklar ist bisher, wie eng das Auftreten dieser Stufen mit den im Modell vorgeschlagenen Altersangaben verknüpft werden sollte. Ähnlich wie das Stufenmodell Piagets könnte lediglich eine invariante Abfolge der Stufen angenommen werden, so dass zwar die Entwicklung jeder Stufe die Voraussetzung für das Auftreten der nächst höheren Stufe darstellt, aber keine genaue Festlegung bezüglich des Altersbereichs vorgenommen wird, in dem der Übergang von einer zur nächst höheren Stufe geschieht. Die Annahme einer invarianten Stufenfolge ohne festgelegte Altersangaben schränkt jedoch die Falsifizierbarkeit des Modells ein. Das Vorhandensein einer bestimmten Kompetenz, die gemäß des verknüpften Modells erst zu einem späteren Zeitpunkt in der Entwicklung auftreten sollte, würde bei Annahme einer invarianten Abfolge der Stufen keine überzeugende Falsifikation der Theorie darstellen, ähnlich wie dies in der Theorie Piagets der Fall ist (vgl. Kapitel VII.1.1.2). Lediglich eine grundsätzlich unterschiedliche Abfolge der Stufen, entweder auf Ebene der SDDS-Komponenten, des epistemologischen Wissens und/oder in Bezug auf die vertikalen Verbindungen zwischen diesen beiden Ebenen würden überzeugende Falsifikationen des Modells als Ganzes darstellen. Im Sinne einer leichteren Überprüfbarkeit des Modells wäre daher die Annahme einer engen Verbindung zwischen dem Auftreten der Stufen und den vorgeschlagenen Altersbereichen wünschenswert. Dennoch scheinen insbesondere vor dem Hintergrund von Studie 1 und 2, in der sich eine große Varianz im Antwortverhalten der Kinder zeigte (vgl. Kapitel II.3 und III.3) allzu starre Altersangaben unangemessen. Weitere Studien sind daher nötig, um zu entscheiden, wie eng die Verbindung zwischen den Stufen und den Altersangaben gefasst werden sollte.

Das verknüpfte Modell liefert zudem keine Antwort auf die Frage, warum bestimmte Typen sozialer Interaktionen sich in der vorgeschlagenen Reihenfolge auf das epistemologische Wissen auswirken sollten. Es ist wahrscheinlich, dass Kinder im Laufe ihrer gesamten Entwicklung mit Konflikten konfrontiert werden, die sich lösen lassen oder als unlösbar erweisen. Es werden im Modell keine Angaben dazu gemacht, warum sich zunächst durch Interaktionen mit Bezugspersonen ein Verständnis falschen Glaubens herausbildet, bevor anschließend die Konfrontation mit Konflikten Auswirkungen auf das epistemologische Wissen haben soll. Auch dies stellt einen deutlichen Schwachpunkt des Modells dar.

In Bezug auf die Stufenstruktur ist anzumerken, dass das Vorliegen von qualitativ unterschiedlichen Entwicklungsstufen im Verlauf der allgemeinen kognitiven Entwicklung ebenso wie in der Entwicklung bestimmter Kompetenzbereiche bezweifelt wird (z.B. Courage & Howe, 2002; Thelen & Smith, 2006). Die Definition von nur wenigen Entwicklungsstufen

ohne die zusätzliche Annahme von Mikroprozessen, die die Übergänge zwischen verschiedenen epistemologischen Vorstellungen im Kindesalter erklären, scheint daher recht grob und unzureichend. Auch hierzu sind weitere Studien nötig, in denen der Frage nachgegangen wird, welche vermittelnden oder auch alternativen Prozesse eine Rolle spielen könnten.

Wie bereits erwähnt macht das verknüpfte Modell keine Angaben dazu, welchen Einfluss unterschiedliche Inhalte auf die Reihenfolge und das zeitliche Auftreten der verschiedenen Stufen haben könnten (vgl. Kapitel VII.1.1.2). Dies stellt ebenfalls einen Schwachpunkt des Modells dar, da nach den Ergebnissen von Kuhn und Park (2005) angenommen werden muss, dass je nach Inhaltsbereich Unterschiede im epistemologischen Verständnis bestehen. Andererseits könnte die Annahme bereichsübergreifender Gültigkeit ebenso eine Stärke des Modells sein, da hierdurch eine breite Anwendbarkeit ermöglicht wird.

Der Vorschlag einer Modellverknüpfung zieht die Frage nach sich, ob im Vergleich zu bereits bestehenden Modellen durch die Verknüpfung ein Mehrwert gewonnen wurde. Der Vorschlag, das SDDS-Modell als Entwicklungsmodell zu betrachten, entstand aus den Ergebnissen von Studie 1 und 2, die Verknüpfung mit dem Modell der Entwicklung epistemologischen Wissens wurde mittels Studie 3 in Teilen überprüft, jedoch ist zu hinterfragen, ob das verknüpfte Modell über die Beschreibung dieser Ergebnisse hinaus nützlich sein kann. Eine Stärke des verknüpften Modells besteht darin, dass es eine metakognitive Ebene, die für das wissenschaftliche Denken unerlässlich scheint (vgl. Kapitel IV), auf sehr konkrete Weise mit bestimmten Komponenten des wissenschaftlichen Denkens verbindet, die noch nicht explizit voneinander getrennt betrachtet wurden. Auch wenn diese Verbindungen im Rahmen dieser Arbeit nur unzureichend empirisch geprüft wurden, regt das Modell möglicherweise weitere Forschungsarbeiten an, die über die Berücksichtigung der SDDS-Komponenten hinaus auch metakognitive Kompetenzen berücksichtigen. Bisher wurden ausschließlich auf theoretischer Ebene Verbindungen zwischen übergeordneten metakognitiven Kompetenzen und dem wissenschaftlichen Denken vorgeschlagen (z.B. Pillow, 2008). Das verknüpfte Modell macht hingegen konkrete und überprüfbare Vorschläge zur Entwicklungsreihenfolge, zu Erklärungsmöglichkeiten und zu einer differenzierten Betrachtung verschiedener Kompetenzen im Bereich des wissenschaftlichen Denkens im Laufe der Entwicklung und stellt daher im Vergleich zum SDDS-Modell und dem Modell des epistemologischen Wissens eine Erweiterung der Forschungsperspektiven auf diesen Kompetenzbereich dar.

Eine weitere Stärke des verknüpften Modells besteht darin, dass mittels des Modells ein Versuch gemacht wird, die Ergebnisse der drei Studien sowie den bisherigen Forschungsstand unter Berücksichtigung aller Komponenten zu einem

Gesamterklärungsmodell zu vereinen. Die Ergebnisse der drei Studien konnten jeweils teilweise auch durch andere Ansätze erklärt werden. Beispielsweise wurde im Rahmen von Studie 1 Kalish's (2010) Modell zu kindlichen Strategien bei der Beurteilung von Häufigkeiten zur Interpretation der Ergebnisse zur Evidenzbewertung herangezogen (vgl. Kapitel II.4). Dieses Modell vermag jedoch nicht die Ergebnisse zum Experimentieren und zum Hypothesengenerieren erklären, da es ausschließlich auf die Interpretation von Häufigkeiten zugeschnitten ist. Ebenso wenig kann der Erklärungsansatz der Aufgabenkomplexität die Ergebnisse insgesamt zufriedenstellend erklären (vgl. Kapitel II.4). Das verknüpfte Modell geht daher über solche Modelle, die die Ergebnisse der Studien teilweise erklären können, hinaus und ist daher deutlich umfassender in seinem Geltungsbereich.

Der Mehrwert der Modellverknüpfung im Vergleich zu den Theorien der kognitiven Entwicklung kann aufgrund des unterschiedlichen Geltungsbereichs nur eingeschränkt bestimmt werden. Jedoch scheint auch hier die Frage interessant zu sein, ob die Modellverknüpfung die Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens besser erklären kann als die allgemeinen Theorien zur kognitiven Entwicklung. Piaget erkannte bereits, dass das formale wissenschaftliche Denken andere Kompetenzen erfordert als rein exploratives Verhalten in der frühen Kindheit (vgl. Kapitel I.2.1.3). Er nahm damit eine Differenzierung verschiedener Arten des Erkenntnisgewinns vor, von denen manche in stärkerem Ausmaß den wissenschaftlichen methodischen Standards entsprechen und andere weniger. Piaget nahm allerdings keine genaue Unterscheidung verschiedener Komponenten des Verständnisses für wissenschaftliche Methoden vor, da er die Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens nicht als Kompetenzbereich, sondern als Ausdruck der allgemeinen kognitiven Entwicklung betrachtete. Das verknüpfte Modell liefert einen Vorschlag für eine solche Unterscheidung und stellt daher eine Weiterentwicklung und Ausdifferenzierung der Ergebnisse Piagets dar. Im Gegensatz zu den Theorien des Kernwissens macht das verknüpfte Modell keine Annahmen zum Einfluss bereichsspezifischer Inhalte auf die Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens, was eine Schwachstelle des Modells darstellen könnte. Jedoch beschreibt es konkreter als die Theorien des Kernwissens mögliche Entwicklungsmechanismen für das Voranschreiten des Verständnisses wissenschaftlicher Methoden. Durch die Einführung der sozialen Ebene als Ebene der Entwicklungsmotoren wurden u.a. Ergebnisse der soziokulturellen Ansätze berücksichtigt, die das Verständnis für andere Menschen als intentionale Akteure für einen wichtigen Einflussfaktor auf die kognitive Entwicklung halten (vgl. Kapitel I.2.3; Tomasello, 2006). Das verknüpfte Modell stellt eine Verbindung verschiedener Ansätze zur allgemeinen kognitiven Entwicklung zur Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens als

Kompetenzbereich dar, das in erster Linie zu weiteren Forschungsarbeiten anregen will (vgl. Kapitel VII.1.1.1).

## 2.2 Kritische Reflexion der Methoden

---

Im Rahmen der Diskussionsabschnitte der drei Studien (vgl. Kapitel II.4, III.4 und VI.4) sowie in Kapitel IV wurden bereits mehrere Kritikpunkte an der Gestaltung der Aufgaben zur Erfassung des wissenschaftlichen Denkens diskutiert. Es ergaben sich im laufenden Forschungsprozess dieser Arbeit einige weitere Einwände, die die Ergebnisse dieser Arbeit in methodischer Hinsicht in Frage stellen könnten. Im Folgenden werden daher die bereits beschriebenen Kritikpunkte aufgegriffen, um dann weitere Aspekte, die in Bezug auf die Methoden der Studien zu hinterfragen sind, auszuführen.

In Kapitel IV wurde die Konstruktion der Fantasietieraufgabe sowie das aus Studie 1 resultierende Ergebnis, dass das Generieren von Hypothesen ohne Rückgriff auf Vorwissen erst den Fünftklässlern möglich war, diskutiert. Insbesondere die Frage, ob dieses Ergebnis die Hypothesengenerierfähigkeiten der jüngeren Kinder adäquat abbildet, wurde kritisch beleuchtet. Beispielsweise wurde in Erwägung gezogen, dass die Kindergartenkinder, aber auch die Grundschulkindern aufgrund begrenzter Gedächtniskapazitäten die Instruktionen vergessen haben könnten. Dies könnte dazu geführt haben, dass die Hypothesengenerieraufgabe nicht aufgrund von Schwierigkeiten im Bereich des Hypothesengenerierens für Kindergartenkinder unlösbar war, sondern aufgrund zu hoher Gedächtnisanforderungen. Die Kompetenzen der jüngeren Kinder im Bereich des Hypothesengenerierens wären dann aufgrund der Konfundierung mit Gedächtnisanforderungen in Studie 1 unterschätzt worden. Ein Vorschlag zur Verbesserung der Fantasietieraufgabe bestand darin, die Kinder nach jeder Tierkarte an die Instruktion zu erinnern (etwa: „Achtung, schau nochmal ganz genau *alle* Talitos an! Welches Körperteil ist wirklich wichtig...“). Im Rahmen weiterer Studien sollte durch eine Variation der Instruktionen überprüft werden, ob sich die Leistungen von Kindergartenkindern und Grundschulkindern unter Verwendung solcher Erinnerungssätze verbessern lassen. Studie 1 stellt lediglich einen ersten Versuch dar, die Fähigkeit zur Hypothesengenerierung nach dem SDDS-Modell zu erfassen. In weiteren Studien durch andere Forschergruppen mit anderen Stichproben in unterschiedlichen Kontexten sollte daher überprüft werden, ob sich die Ergebnisse auch unter Beibehaltung der bisherigen Instruktionen replizieren lassen, bevor eine sichere Aussage zu den tatsächlichen Fähigkeiten von Kindern verschiedener Altersgruppen im vorwissensfreien Hypothesengenerieren gemacht werden kann.

In Bezug auf die Aufgabe zur Erfassung des basalen Experimentierverständnisses (Mausaufgabe) wurde im Rahmen von Studie 2 (Kapitel III.4) und in Kapitel IV diskutiert, ob

das als konklusiv bezeichnete Experiment (das Aufstellen des Hauses mit der kleinen Tür) wirklich konklusiv ist. Die Überlegungen hierzu führten u.a. zu den Erweiterungen im verknüpften Modell (vgl. Kapitel VII.1.1.1). Da die Konklusivität eines Experiments von der Eindeutigkeit der Schlussfolgerungen abhängt, die die möglichen Versuchsausgänge zulassen, wurde hinterfragt, ob alle Versuchsausgänge der Mauseaufgabe zu einer eindeutigen Schlussfolgerung führen würden. Der Versuchsausgang „das Futter ist noch da“ nach Aufstellen des Hauses mit der kleinen Tür lässt nur dann die Schlussfolgerung zu, dass es sich um eine große Maus gehandelt haben muss, wenn gleichzeitig davon ausgegangen wird, dass die Maus hungrig ist. Sollten die Kinder bei der Beantwortung der Experimentierfrage diese Möglichkeit in Betracht gezogen haben, könnte dies dazu geführt haben, dass sie beide Experimente (das Aufstellen des Hauses mit der kleinen Tür und das Aufstellen des Hauses mit der großen Tür) für inkonklusiv hielten. In Studie 1 und 2 ergaben sich Hinweise darauf, dass das als konklusiv bezeichnete Experiment nicht von allen Kindern als solches wahrgenommen wurde (vgl. Kapitel IV). Es stellt sich dadurch die Frage, ob das basale Experimentierverständnis der Kinder valide erfasst worden ist.

Damit einhergehend könnte sich das Problem ergeben haben, dass die Fähigkeiten insbesondere von Kindergartenkindern zu pessimistisch beurteilt worden sein könnten. In allen drei Studien wurde als Maß für das basale Experimentierverständnis das kombinierte Maß aus Fütter- und Experimentierfrage herangezogen (vgl. Kapitel II.3, III.3 und VI.3). Da das Aufstellen des Hauses mit der kleinen Tür von einigen Kindern nicht als konklusives Experiment wahrgenommen worden sein könnte, könnte ihre Antwort auf die Experimentierfrage aufgrund dessen falsch ausgefallen sein. Dies hätte wiederum zum Wert „0“ im kombinierten Maß aus Fütter- und Experimentierfrage geführt (vgl. Kapitel II.3, III.3 und VI.3), wodurch ihr grundlegendes Experimentierverständnis unterschätzt worden sein könnte.

Zudem ist in Bezug auf die Mauseaufgabe zu diskutieren, ob das kombinierte Maß aus Fütter- und Experimentierfrage unabhängig von der Frage, ob das als konklusiv bezeichnete Experiment als konklusiv wahrgenommen wurde, tatsächlich einen Indikator für das basale Experimentierverständnis darstellen kann. Es wurde angenommen, dass dieses Maß erfasst, ob Kinder dazu in der Lage sind, sich vom salienten Handlungsziel, die Maus füttern zu wollen, zu lösen, um Hypothesen zu prüfen und Eindeutigkeit zu schaffen im Hinblick auf die Größe der Maus. Auch für ein sehr basales Verständnis für Experimente reicht es möglicherweise nicht aus, sich von der Fütterung der Maus zugunsten der Hypothesenprüfung lösen zu können. Das kombinierte Maß aus Fütter- und Experimentierfrage stellt ein sehr enges, vermutlich wichtiges, aber dennoch nicht umfassendes Instrument zur Erfassung frühkindlicher Experimentierfähigkeiten dar und sollte

in zukünftigen Studien durch weitere Maße ergänzt werden, die andere Aspekte basaler Experimentierfähigkeiten abbilden. Ein Beispiel hierfür könnte ein Untersuchungsparadigma sein, in dem geprüft wird, ob Kinder eine Situation, in der ein Experiment Klarheit verschaffen könnte, überhaupt als solche wahrnehmen und einordnen.

In Bezug auf die Aufgabe zur Evidenzbewertung wurde hinterfragt, ob die Frage zur nicht perfekten Kovariation so verstanden worden sein könnte, dass sie sich darauf bezieht, welches Kaugummi „gefährlich“ ist und dementsprechend nicht konsumiert werden sollte (vgl. Kapitel II.4). Wird die Frage zur nicht perfekten Kovariation auf diese Weise interpretiert, wäre die Antwort, dass beide Kaugummis (gelbe und blaue) die Zähne kaputt machen, in gewisser Weise richtig, da auch ein Kaugummi, das nicht immer, aber immerhin manchmal die Zähne kaputtzumachen scheint, vermieden werden sollte. Wenn die Kinder diese Interpretation bevorzugt haben sollten, dann wäre ihre Fähigkeit, eine nicht perfekte Kovariation richtig auf eine Hypothese beziehen zu können, unterschätzt worden. Dieses Erklärungsmodell insbesondere für die schlechteren Leistungen der Erstklässler in Studie 1 scheint jedoch unwahrscheinlich (zur genaueren Begründung vgl. Kapitel II.4).

Insbesondere bezüglich der Frage zur nicht vorhandenen Kovariation der Evidenzbewertungsaufgabe wurde diskutiert, ob das offene Antwortformat günstig gewesen ist (vgl. Kapitel III.4). Das offene Antwortformat im Kontext einer instruktiven Situation, in der ein Erwachsener sich mit einem Kind allein beschäftigt und mit ihm zusammen verschiedene Aufgaben macht, könnte bei den Kindern den Eindruck erweckt haben, dass eine eindeutige Entscheidung für eine der beiden Kaugummisorten erwartet wurde. Dadurch könnten die Kinder nicht ausreichend dazu ermutigt worden sein, mit „er weiß es nicht“ oder „er kann sich nicht sicher sein“ zu antworten. Das offene Antwortformat könnte hierdurch zu einer schlechteren Leistung der Kinder in Studie 1 geführt haben, wodurch die Fähigkeit der Kinder, Evidenzen, die keinen Rückschluss auf das Zutreffen einer Hypothese zulassen, richtig zu interpretieren, unterschätzt worden sein könnte. Ein geschlossenes Antwortformat, etwa wie in „was glaubt Leon, welche Kaugummis die Zähne kaputt machen: Blaue, gelbe oder er weiß es nicht genau?“ hätte dagegen bei allen Kindern in Studie 1 und 2 zu besseren Leistungen führen können.

In Kapitel III.4 wurde dieser Kritikpunkt mit Hilfe eines Arguments, das sich aus dem Ergebnismuster von Studie 1 und 2 im Gesamten ergibt, etwas entkräftet. Je älter die Kinder sind, desto häufiger waren sie instruktiven Situationen (z.B. im Schulunterricht) ausgesetzt. Sollte die Leistung der Kinder durch das offene Antwortformat im Kontext einer instruktiven Situation beeinflusst worden sein, wäre ein Abfall der Leistungen der Kinder mit steigendem Alter und damit einhergehender längerer Beschulung zu erwarten. In Studie 1 und 2 ergaben sich stattdessen Leistungssteigerungen mit ansteigendem Alter. Im Rahmen von Kapitel III.4

wurde jedoch noch nicht darauf eingegangen, dass die Leistungen von Kindern im Kindergartenalter deutlich stärker durch Merkmale der Untersuchungssituation sowie durch das Verhalten des Testleiters beeinflussbar zu sein scheinen als dasjenige von Kindern im Schulalter (z.B. Simon & Smith, 2011; Smith & Whitney, 1987). Es könnte daher dennoch sein, dass das Antwortverhalten der Kindergartenkinder in einem stärkeren Ausmaß als das Antwortverhalten der Schulkinder durch das offene Antwortformat beeinflusst wurde, obwohl sie bisher seltener instruktiven Situationen ausgesetzt waren. In weiteren Studien sollte daher mittels experimenteller Variationen festgestellt werden, ob die Frage zur nicht vorhandenen Kovariation unter Verwendung eines geschlossenen Antwortformats bereits von jüngeren Kindern gelöst werden kann.

Im Rahmen von Studie 1 wurde hinterfragt, ob die Fragen zur perfekten, zur nicht perfekten und zur nicht vorhandenen Kovariation innerhalb der Evidenzbewertungsaufgabe als gleichwertig anzusehen sind (vgl. Kapitel II.4). Die Frage zur nicht perfekten Kovariation musste aus Sicht des jeweiligen Kindes, die Fragen zur perfekten und zur nicht vorhandenen Kovariation jedoch aus Sicht einer Puppe beantwortet werden. Die Leistungen der Kinder bei der Frage zur perfekten und zur nicht vorhandenen Kovariation könnten daher durch ihre Theory of Mind Kompetenzen beeinflusst worden sein. In der Diskussion von Studie 1 wurde dieser Kritikpunkt in aller Kürze durch einen Vergleich der Ergebnisse mit den Ergebnissen Koerber et al.'s (2005) entkräftet (vgl. Kapitel II.4). Vor dem Hintergrund der Ergebnisse aller drei Studien dieser Arbeit sowie der theoretischen Verknüpfung des SDDS-Modells mit dem epistemologischen Modell von Kuhn et al. (2000) wird jedoch an dieser Stelle etwas umfassender auf die Frage eingegangen, ob die Aufgaben zu den Komponenten des SDDS-Modells, wie sie hier verwendet wurden, nicht „eigentlich“ Theory of Mind oder metakognitive Kompetenzen messen. Diese Auffassung vertritt beispielsweise Kuhn (1999, 2000; vgl. Kapitel V), die das wissenschaftliche Denken als fortgeschrittene Theory of Mind Leistung ansah. Sollte dies der Fall sein, stellt sich die Frage, ob das Konstrukt des bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denkens und das SDDS-Modell nicht durch andere Konstrukte, wie zum Beispiel der Theory of Mind, ersetzt werden könnten.

Im Rahmen von Studie 1 wurde dargelegt, dass in allen drei Komponenten des SDDS-Modells ein metakognitiver Anteil enthalten ist. Zur Evidenzbewertung ist es nötig, Hypothesen von Evidenzen als zwei unterschiedliche Entitäten zu begreifen. Die Komponente des Experimentierens erfordert ein Verständnis für Experimente als Möglichkeit, Evidenzen zu generieren, die für oder gegen eine Hypothese sprechen. Die Komponente der Hypothesengenerieren und –adaptation hat vermutlich den größten metakognitiven Anteil, da ein ständiger bewusster Abgleich zwischen Hypothesen und Evidenzen stattfinden muss (vgl. Kapitel II.1). In Kapitel V wurden die Beziehungen zwischen

dem wissenschaftlichen Denken, dem Metawissen und epistemologischen Verständnis gemäß der Modelle von Kuhn (1999, 2000) und Kuhn et al. (2000) herausgearbeitet und in Kapitel VII.1.1.1 gemeinsam mit den Ergebnissen der Studien dieser Arbeit in ein gemeinsames Modell verknüpft. Es besteht folglich auch im Rahmen des Aufbaus dieser Arbeit eine enge Verzahnung von metakognitiven Kompetenzen und Fähigkeiten im bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denken, die in Form des verknüpften Modells in Kapitel VII.1.1.1 verbildlicht wurde.

Das bereichsübergreifende wissenschaftliche Denken wurde als die Fähigkeit zur Anwendung und das Verständnis für die Methoden des Erkenntnisgewinns definiert (vgl. Kapitel I.3; Zimmerman, 2005). Es scheint schwierig, ein solches Verständnis für die Methoden des Erkenntnisgewinns zu entwickeln, ohne ein grundlegendes Verständnis für das Denken und den Zusammenhang zwischen Denkinhalten und der Realität und damit ein basales metakognitives Wissen zu besitzen. Dementsprechend enthalten Aufgaben zum bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denken notwendigerweise eine Konfundierung des Verständnisses für spezifische Methoden des Erkenntnisgewinns wie das Experimentieren oder Evidenzen bewerten und des metakognitiven Verständnisses für Denk- und Schlussfolgerungsprozesse. Auch die Aufgaben, wie sie in dieser Arbeit verwendet wurden, weisen einen hohen metakognitiven Anteil auf (vgl. Kapitel IV). Besonders deutlich ist dies bei der Evidenzbewertungsaufgabe, in der ähnlich wie bei klassischen Aufgaben zum Verständnis falschen Glaubens die Hypothese einer Person aus Evidenzen abgeleitet werden muss (vgl. Kapitel I.2.2; Wimmer & Perner, 1983). Die Idee für das Design der Evidenzbewertungsaufgabe stammt aus einer Studie von Ruffman et al. (1993). In ihr wurde die Überlegung angestellt, dass Kinder ein grundlegendes Verständnis für die Beziehung zwischen Hypothesen und Evidenzen haben müssten, wenn sie ein grundlegendes Verständnis für die Beziehung zwischen Überzeugungen und Evidenzen entwickelt haben, was sich in Aufgaben zum Verständnis falschen Glaubens zeigt. Ruffman et al. (1993) konnten zeigen, dass dann, wenn Evidenzbewertungsaufgaben ähnlich wie Aufgaben zum Verständnis falschen Glaubens konstruiert werden, erste Kompetenzen im Bereich der Evidenzbewertung schon im Kindergartenalter nachweisbar sind.

Dennoch wird insbesondere bei der Betrachtung der Ergebnisse von Studie 3 deutlich, dass das Konstrukt des bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denkens nicht vollständig mit dem Konstrukt der Theory of Mind oder Metakognition gleichgesetzt werden sollte. In Studie 3 zeigte sich ein prädiktiver Zusammenhang zwischen dem Verständnis falschen Glaubens als Maß für die Theory of Mind und dem basalen Experimentierverständnis, allerdings ergaben sich keine Zusammenhänge zwischen den beiden Maßen zum gleichen Messzeitpunkt (vgl. Kapitel VI, Tabelle 5). Dies kann nicht auf

Boden- oder Deckeneffekte in einer der beiden Aufgaben zurückgeführt werden (vgl. Kapitel VI, Tabelle 1). Wären das Konstrukt Theory of Mind und das Konstrukt des bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denkens deckungsgleich, wäre zu erwarten, dass Aufgaben zu beiden Konstrukten sehr hoch zu allen Messzeitpunkten korrelieren, sofern die Aufgaben valide Indikatoren der Konstrukte darstellen. Vor dem Hintergrund der Ergebnisse von Studie 3 scheint das Verständnis falschen Glaubens als Indikator für die metakognitiven Fähigkeiten der Kinder eine mögliche Vorläuferkompetenz des basalen Experimentierverständnisses darzustellen, letzteres aber nicht vollständig zu erklären. Die Ergebnisse der Studie von Astington et al. (2002) zeigten ebenfalls einen ausschließlich prädiktiven Zusammenhang zwischen Theory of Mind Kompetenzen und Kompetenzen im bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denken mittels einer Aufgabe zur Evidenzbewertung. Auch wenn die Zusammenhänge zwischen den Konstrukten Theory of Mind/ Metakognition und dem bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denken noch nicht umfassend untersucht wurden, sprechen die Befunde dieser Arbeit eher gegen die Annahme, dass Aufgaben zum bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denken ausschließlich metakognitive Kompetenzen messen. Eine Betrachtung der beiden Konstrukte als deckungsgleich bzw. als Ausprägungen einer „Theory of Mind“- Skala, wie von Kuhn (1999, 2000) vorgeschlagen, scheint daher nicht zutreffend.

Ein weiterer methodischer Kritikpunkt, der sich auf alle drei Studien bezieht, besteht darin, dass die testtheoretischen Gütekriterien bei den meisten der in den drei Studien verwendeten Aufgaben noch unbekannt sind. Die Durchführungs-, Auswertungs- und Interpretationsobjektivität wurden mittels der Standardisierung der Versuchsdurchführung und Auswertung bei allen Aufgaben weitgehend sichergestellt. Die Reliabilitäten und Validitäten insbesondere der Aufgaben zum bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denken und zum Verständnis falschen Glaubens wurden allerdings noch nicht überprüft. Die Komponenten des Experimentierens und der Evidenzbewertung sowie das Verständnis falschen Glaubens wurden jeweils lediglich mittels einer Aufgabe (Mausaufgabe und Kaugummiaufgabe) untersucht. Aus testtheoretischer Sicht ist fraglich, ob dies reliable Messungen der Kompetenzen der Kinder darstellt. Aus der Testtheorie ist bekannt, dass eine Batterie vieler homogener Untertests eine reliablere Messung ermöglicht als einzelne Aufgaben (z.B. Lienert & Raatz, 2001), so dass die Verwendung von Testbatterien wünschenswert gewesen wären. Die Fantasietieraufgabe wurde so konstruiert, dass mehrere Versuchsdurchgänge zu einem Gesamtmaß zusammengefasst werden konnten. Durch die Verwendung mehrerer Items zur Erfassung eines Konstrukts könnte dadurch eine höhere Reliabilität erreicht worden sein als bei der Mausaufgabe und der Kaugummiaufgabe, jedoch ist auch hierzu noch nichts bekannt.

Sollten die Reliabilitäten der einzelnen Aufgaben gering ausfallen, ist wiederum zu erwarten, dass ebenso die Validitäten der Aufgaben gering ausfallen (vgl. Lienert & Raatz, 2001) und die Aufgaben möglicherweise keine ausreichend gültige Operationalisierung der eigentlich intendierten Konstrukte darstellten. In diesem Fall hätten die Schlussfolgerungen, die auf den Ergebnissen dieser Arbeit unter Verwendung der Aufgaben beruhen, ebenfalls keine Gültigkeit, da sie auf der Annahme beruhen, dass die Aufgaben tatsächlich die intendierten Konstrukte messen. Es sollten daher unbedingt weitere Untersuchungen erfolgen, in denen insbesondere die Konstruktvalidität der Aufgaben überprüft wird. Hierfür ist sowohl die Überprüfung der konvergenten als auch der diskriminanten Validität nötig. Zur Bestimmung der konvergenten Validität sind weitere Aufgaben erforderlich, die die Komponenten des bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denkens erfassen. Bisher gibt es jedoch im Falle der Fähigkeit zur Hypothesengenerierung keine, im Falle der beiden anderen Komponenten des wissenschaftlichen Denkens nur wenige weitere Aufgaben, deren Validität ebenfalls fraglich sind. Hier besteht also noch deutlicher Forschungsbedarf bei der Konstruktion weiterer vorwissensfreier Untersuchungsmethoden.

Zur Überprüfung der diskriminanten Validität sind Untersuchungen zum Ausschluss hoher korrelativer Zusammenhänge der Aufgaben zum bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denken mit Aufgaben zur Erfassung anderer Konstrukte notwendig. Die Darstellung der Korrelationen zwischen den in Studie 3 verwendeten Maßen stellt in gewisser Weise bereits eine solche Überprüfung der diskriminanten Validität des Maßes zum Experimentierverständnis dar (vgl. Kapitel VI, Tabelle 4), woraus sich ein Hinweis auf die Abgrenzbarkeit der Konstrukte bereichsübergreifendes wissenschaftliches Denken und Theory of Mind/ Metakognition ergab (s. oben). Die Überprüfung der diskriminanten Validität der anderen beiden Komponenten gegenüber anderen Konstrukten und auch zwischen einander steht allerdings noch aus.

Neben den Kritikpunkten zur Auswahl und Gestaltung der verwendeten Aufgaben ergaben sich weitere kritische Aspekte, die sich auf die Auswertungs- und Interpretationsmöglichkeiten der Ergebnisse der Studien bezogen. Im Rahmen von Studie 3 wurde diskutiert, inwiefern das Verständnis falschen Glaubens eine hinreichende Bedingung des Experimentierverständnisses darstellt (vgl. Kapitel VI.4). Die Ergebnisse von Studie 3 weisen darauf hin, dass dies nicht der Fall ist. Zunächst erscheint das Ergebnis, dass die Wahrscheinlichkeit, die Aufgabe zum Experimentierverständnis im Alter von fünf Jahren richtig zu lösen, etwa um das Achtfache erhöht ist, wenn im Alter von vier Jahren die Aufgabe zum Verständnis falschen Glaubens richtig gelöst wurde, überzeugend (vgl. Kapitel VI.3). Das Verständnis falschen Glaubens erklärt allerdings lediglich 17-23% der Varianz im basalen Experimentierverständnis. Andere Fähigkeiten, die in Studie 3 nicht für relevant

gehalten und dementsprechend nicht berücksichtigt wurden, könnten ebenfalls zur Entwicklung eines basalen Experimentierverständnisses beitragen. Ebenso könnte es Interaktionseffekte zwischen dem Verständnis falschen Glaubens und weiteren Fähigkeiten geben, die das basale Experimentierverständnis beeinflussen. Trainingsstudien, in denen die Auswirkung von Interventionen zur Förderung des Verständnisses falschen Glaubens auf das bereichsübergreifende wissenschaftliche Denken untersucht wird, könnten zu einer größeren Klarheit über die tatsächliche Bedeutung des Verständnisses falschen Glaubens für die Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens führen.

In Bezug auf die Auswertungsmöglichkeiten ist anzumerken, dass die Kaugummiaufgabe und die Mauseaufgabe lediglich dichotome Daten erbrachten. Aufgrund der unterschiedlichen Reaktionen der Kinder verschiedener Altersgruppen auf die Frage zur nicht perfekten Kovariation schien es nicht sinnvoll, die Frage zur perfekten, die Frage zur nicht perfekten und die Frage zur nicht vorhandenen Kovariation zu einem gemeinsamen Evidenzbewertungsmaß zusammenzufassen und damit ein höheres Datenniveau anzustreben (vgl. Kapitel II). Ebenso schien es bei der Mauseaufgabe unsinnig, die Anzahl der richtigen Antworten auf alle Fragen zu einem gemeinsamen Experimentierverständnismaß zusammenzufassen. Ein höherer Wert eines solchen zusammengefassten Maßes hätte kein besseres Experimentierverständnis abgebildet, da dieser auch lediglich durch die Konzentration auf das Füttern der Maus zustande kommen könnte (vgl. Kapitel II.2, III.2 und VI.2). Stattdessen wurde als Hauptindikator das kombinierte Maß aus Fütter- und Experimentierfrage herangezogen, das wiederum ebenfalls ausschließlich dichotom kodiert werden konnte. Da davon ausgegangen wurde, dass die Fähigkeit, sich vom salienten Handlungsziel, die Maus füttern zu wollen, zugunsten der kritischen Hypothesenprüfung zu lösen, ein Indikator für das basale Experimentierverständnis darstellt, hätte eine Aufsummierung der richtigen Beantwortung der Fütter- und der Experimentierfrage keine Abbildung genau dieser Fähigkeit erbracht. Ein Kind, das die Fütterfrage oder die Experimentierfrage richtig beantwortet hat, hätte bei einer solchen Aufsummierung den Wert „1“ erhalten. Es hätte jedoch kein besseres oder höher entwickeltes Experimentierverständnis als ein Kind, das beide Fragen falsch beantwortet und damit den Wert „0“ erhalten hat, da in beiden Fällen keine Differenzierung von Füttern und Experimentieren erfolgt ist.

Das dichotome Auswertungsformat der Kaugummi- und der Mauseaufgabe schränkte die Auswertungsmöglichkeiten erheblich ein. Aufgrund dessen und der zu geringen Stichprobengröße war es nicht möglich, mit Hilfe von Strukturgleichungsmodellen im Rahmen des längsschnittlichen Designs von Studie 2 und 3 kausale Zusammenhänge zu prüfen (Muthén & Muthén, 2002). Die Auswahl der Aufgaben und ihr Antwortformat führte

daher zu einer deutlichen Einschränkung des Erkenntnisgewinns. Im Rahmen zukünftiger Studien sollten zunächst intervallskalierte Messinstrumente entwickelt werden, um diese Schwierigkeit zu lösen. Auf diese Weise könnte eine Überprüfung des verknüpften Modells mittels Strukturgleichungsmodellen ermöglicht werden.

Die Ergebnisse mikrogenetischer Studien legen nahe, dass eine Betrachtung der einzelnen Komponenten des SDDS-Modells zur Gewinnung neuer Erkenntnisse über die Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens in der frühen Kindheit sinnvoll sein könnte, da viele Jugendliche und Erwachsene Schwierigkeiten damit hatten, einen vollständigen Erkenntnisprozess mit allen Komponenten in einer Laborsituation selbstständig zu bewältigen (vgl. Kapitel I.4; Klahr & Dunbar, 1988; Kuhn et al., 1992; Schauble, 1990, 1996). Dennoch hätte anstelle der Betrachtung der einzelnen Komponenten ein mikrogenetisches Untersuchungsparadigma für jüngere Kinder entwickelt werden können, in dem alle Komponenten gemeinsam betrachtet werden. Dies hätte eine größere Ähnlichkeit zu realen Situationen, in denen Kinder neue Erkenntnisse sammeln, als die Betrachtung von spezifischen Fähigkeiten. Ebenso wäre es möglich gewesen, anstelle der Verwendung einzelner Aufgaben mit Hilfe von Interviewverfahren das Verständnis für die Methoden des Erkenntnisgewinns von Kindern und Jugendlichen zu untersuchen. Diese Vorgehensweise wählten beispielsweise Carey und Smith (1993) in ihren Studien mittels des „nature of science“ Interviews. In zukünftigen Studien könnten solche Paradigmen mit den Ergebnissen der Studien dieser Arbeit kontrastiert werden, um die Übereinstimmung verschiedener Untersuchungsparadigmen zu überprüfen und hierdurch zu genaueren Aussagen darüber zu gelangen, welche Fähigkeiten im bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denken im Laufe der frühen und mittleren Kindheit bestehen.

Die Auswahl der theoretischen Annahmen und Methoden innerhalb dieser Arbeit ergab sich nicht nur aufgrund der in Kapitel I hergeleiteten Forschungslücken. Sie unterlag sicherlich ebenso den unbewussten epistemologischen Überzeugungen der Autorin. Nach Peirce (1967) lesen die meisten Menschen nur das, was der eigenen Überzeugung entspricht. Die Autorin wird daher die Möglichkeiten, das wissenschaftliche Denken zu untersuchen, ebenso wie die bestehenden theoretischen Modelle nur begrenzt überschauen können. Trotz aller Kritikpunkte, auf die im Rahmen dieses Kapitels aufmerksam gemacht werden sollte, liefern die Ergebnisse der drei Studien sowie die Modellverknüpfung wertvolle Anregungen für weiterführende Forschungsarbeiten und für das Anwendungsfeld der naturwissenschaftlichen Bildung, die im folgenden Kapitel dargestellt werden sollen.

## VIII. Ausblick

---

"Nichts setzt dem Fortgang der Wissenschaft mehr Hindernis entgegen, als wenn man zu wissen glaubt, was man noch nicht weiß."

(G. C. Lichtenberg, *Sudelbücher Heft*, Ausgabe von 1984)

### 1. Vorschläge für weiterführende Forschungsarbeiten

---

In den vorherigen Kapiteln wurden bereits an mehreren Stellen Vorschläge für weiterführende Forschungsarbeiten zur Verbesserung der methodischen und theoretischen Vorgehensweisen geschildert (vgl. Kapitel VII.2.1 und VII.2.2). Um Redundanzen zu vermeiden sollen daher an dieser Stelle lediglich übergeordnete Ergänzungen, die für weitere Forschungsarbeiten von Bedeutung sein könnten, dargelegt werden.

Einige Ideen für weiterführende Forschungsarbeiten können aus dem Vergleich der Ergebnisse dieser Arbeit mit den Annahmen der Theorien der kognitiven Entwicklung abgeleitet werden. Die deutlichsten Ähnlichkeiten ergaben sich zwischen den Ergebnissen dieser Arbeit und den Annahmen Piagets. Eine interessante Parallele besteht in dem übereinstimmenden Ergebnis, dass Kindergartenkinder Schwierigkeiten damit haben, uneindeutige Evidenzen zu interpretieren bzw. Zufallsschwankungen in den Ergebnissen von Experimenten einzuordnen (vgl. Kapitel II, III und VII.1.1.2). Kindergartenkinder scheinen damit Schwierigkeiten zu haben zu verstehen, dass ein Ereignis „etwa“ oder „ungefähr“ in einer kausalen Beziehung zu einem anderen Ereignis stehen kann (vgl. Kapitel I.2.1.3), bzw. dass zwei Ereignisse positiv, aber nicht perfekt kovariieren. Im Laufe der Kindergartenzeit erwerben Kindergartenkinder die Fähigkeit, mit solchen uneindeutigen Situationen umzugehen, was zu Beginn des Grundschulalters möglicherweise in einer dichotomen und damit übergeneralisierenden Wahrnehmung der Uneindeutigkeit von Informationen mündet (vgl. Kapitel VII.1.1.1). Eine genauere Untersuchung dieser Annahme scheint lohnenswert, da das Verständnis uneindeutiger Evidenzen nach dem verknüpften Modell eine entscheidende Kompetenz für die weitere Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens darstellen könnte.

Im Rahmen dieser Arbeit konnte über die reine Beschreibung dieses Entwicklungsprozesses hinaus noch keine klare Antwort auf die Frage gefunden werden, durch welche Mechanismen das Verständnis für uneindeutige Situationen entsteht. Das verknüpfte Modell macht durch die Annahme sozial-interaktiver Faktoren Vorschläge hierzu (vgl. Kapitel VII.1.1.1), jedoch müsste in weiterführenden Studien untersucht werden, ob und

inwiefern diese Faktoren die Entwicklung des Verständnisses für uneindeutige Situationen beeinflussen. Darüber hinaus wäre es sinnvoll, die kindlichen Fähigkeiten in der Bewertung uneindeutiger Evidenzen während der Kindergartenzeit mittels weiterer Untersuchungsverfahren zu untersuchen. Es könnte ein ähnliches Untersuchungsparadigma wie die Kaugummiaufgabe verwendet und während der Durchführung durch gezieltes Nachfragen zusätzliche Informationen dazu erhoben werden, wie die Kinder zu ihren Entscheidungen für oder gegen eine Kaugummifarbe gelangen. Beispielsweise könnten die Kindergartenkinder, die sich für die falsche Kaugummifarbe entscheiden, darauf hingewiesen werden, dass die Menge der Evidenzen eine Rolle spielen könnte (etwa wie in „Schau mal, hier sind ganz viele Kinder, die kaputte Zähne haben und gelbe Kaugummis kauen, und nur ganz wenige Kinder, die kaputte Zähne haben und blaue Kaugummis kauen...“). In einem solchen Paradigma sollte zudem das basale Mengenverständnis der Kinder im Sinne des Verständnisses für die Begriffe „viel“ und „wenig“ überprüft werden. Diese Vorgehensweise würde Piagets (1983) „klinischer Methode“ ähneln (vgl. VII.1.1.2) und könnte zu Erkenntnissen dazu führen, ab welchem Alter Kindergartenkinder durch solche Hinweise auf die Idee kommen, die Evidenzmenge zu berücksichtigen. Außerdem sollten auch die Kindergartenkinder, die sich für die richtige Kaugummifarbe entscheiden, nach ihren Gründen für die Entscheidung befragt werden. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass Kindergartenkinder aufgrund ihrer begrenzten metakognitiven Fähigkeiten häufig Schwierigkeiten damit haben, ihre Antworten zu begründen (vgl. hierzu auch die Ergebnisse zu den Begründungsfragen der Mauseaufgabe; Kapitel II.3 und III.3). Dennoch sollte eine solche Befragung versucht werden, um neue Ideen zu den Mechanismen der Entwicklung der Fähigkeit zur Evidenzbewertung zu generieren und das verknüpfte Modell ggf. durch weitere Faktoren zu ergänzen.

Eine weitere Möglichkeit, die Entwicklung des Verständnisses für uneindeutige Evidenzen zu untersuchen, könnten Studien zu den Blickbewegungen von Kindern bei der Betrachtung uneindeutiger Evidenzen sein. Anhand der Blickbewegungen könnte ermittelt werden, ob die Kinder zum einen wirklich alle Evidenzen betrachten, und zum anderen, welche Evidenzen die Kinder betrachten, wenn sie ihre Entscheidungen fällen. Sollte die Annahme stimmen, dass zu Beginn des Grundschulalters eine dichotome Wahrnehmung der Uneindeutigkeit von Evidenzen vorliegt, wäre zu erwarten, dass die Kinder verstärkt die Evidenzen betrachten, die zu einer nicht perfekten Kovariation beitragen. Im Falle der Kaugummiaufgabe, wie sie in dieser Arbeit verwendet wurde, wären das die beiden Karten mit der Kombination „blaues Kaugummi/ kranke Zähne“, die wesentlich seltener vorkommen als die Karten mit der Kombination „gelbes Kaugummi/ kranke Zähne“ (vgl. Kapitel II.2 und III.2). Die verstärkte Betrachtung speziell dieser Evidenzen könnte auf die im verknüpften

Modell erwähnte dichotome Wahrnehmung der Uneindeutigkeit hindeuten, da die Kinder in diesem Fall den selteneren Evidenzen möglicherweise eine zu starke Bedeutung zusprechen. Im Falle der Kindergartenkinder wäre dagegen zu erwarten, dass sie sich eher auf einzelne Evidenzen konzentrieren und die übrigen außer Acht lassen. Ältere Grundschul Kinder würden, sollten die Annahmen des verknüpften Modells stimmen, alle Evidenzen gleichermaßen betrachten. Sollten diese Vorhersagen nicht eintreten, würde dies das Modell nicht unmittelbar falsifizieren, da lediglich die Hypothese besteht, dass es einen Zusammenhang zwischen den Blickbewegungen und den tatsächlichen Entscheidungen der Kinder geben könnte. Auch diese Hypothese könnte nicht zutreffen. Blickbewegungsmessungen können daher nicht als echte Falsifikationsmöglichkeit auf der Ebene der Entscheidungsfindung gelten, sie könnten aber eine wertvolle Ergänzung darstellen.

Eine übergeordnete Erkenntnis dieser Arbeit besteht darin, dass die konkrete Operationalisierung des Kompetenzbereichs des Experimentierens stark davon abhängt, welche Definition des Experimentierens einer Untersuchung zugrunde liegt. Piaget (1973) unterschied „Experimente, um zu sehen“, also explorative Verhaltensweisen, durch die die Eigenschaften von Gegenständen bereits im Säuglingsalter erkundet werden, vom formalen wissenschaftlichen Denken in der Adoleszenz (vgl. Kapitel I.2.1.3). Auch wenn Piagets Einschätzung des Verständnisses für wissenschaftliche Methoden von Kindergarten- und Grundschulkindern nach den Ergebnissen dieser und anderer Arbeiten pessimistisch scheint (vgl. Kapitel VII.1.1.2), berührt diese Unterscheidung einen für weitere Forschungsvorhaben wichtigen Aspekt. Im Rahmen der Mause Aufgabe wurde das basale Experimentierverständnis als die Fähigkeit, sich von einem erwünschten Ziel zugunsten des kritischen Hypothesenprüfens zu lösen, operationalisiert (vgl. Kapitel VII.2.2). Hierfür muss eines der beiden möglichen Experimente als das konklusivere von beiden erkannt werden. Sodian et al. (1991) bezeichneten diese der Mause Aufgabe zugrunde liegende Fähigkeit als Vorläuferkompetenz zur bewussten Verwendung der Variablenkontrollstrategie, die Piaget als Indikator für das formale wissenschaftliche Denken untersuchte (Piaget & Inhelder, 1958). Dies scheint zunächst sinnvoll, da die Fähigkeit zu erkennen, ob ein Experiment konklusive Schlussfolgerungen zulässt oder nicht, tatsächlich der Verwendung der Variablenkontrollstrategie, die die Konklusivität eines Experiments sicherstellt, vorangehen könnte. Eine empirische Überprüfung dieser Annahme ist jedoch bisher nicht erfolgt. Es ist daher bislang unklar, ob die Mause Aufgabe dieselbe und/ oder eine Vorläuferkompetenz der Variablenkontrollstrategie darstellt und damit derselben Definition eines „guten“ Experimentes unterliegt.

Unabhängig von diesem Problem stellt sich im Hinblick auf unterschiedliche Definitionen des Experimentierens die Frage, ob die Beherrschung der Variablenkontrollstrategie den einzigen Indikator für kindliche Experimentierfähigkeiten darstellen sollte. Die Bedeutung der Beherrschung der Variablenkontrollstrategie für das kindliche *wissenschaftliche Denken* wird zunehmend bezweifelt (Kuhn & Dean, 2005; Kuhn, Jordanou, Pease & Wirkala, 2008). Jedoch wird selten hinterfragt, ob sich Studien speziell zum kindlichen *Experimentierverständnis* ausschließlich an der Norm, Experimente seien nur dann als solche zu bezeichnen, wenn sie die gezielte Variation einer unabhängigen Variablen bei gleichzeitiger Konstanzhaltung aller bekannten Störvariablen beinhalten, orientieren sollten (vgl. Kapitel I.4.2; Hussy & Jain, 2002). Möglicherweise lässt sich das kindliche Experimentierverhalten auf anderen Dimensionen beschreiben als diejenigen, die durch Untersuchungen zur Variablenkontrollstrategie nahegelegt werden. Erkenntnisse hierzu könnten durch eine genauere Untersuchung frühkindlicher explorativer Verhaltensweisen gewonnen werden. Beispielsweise könnten Kindergartenkinder gezielt mit neuartigen Situationen konfrontiert werden, und es könnte ihnen lediglich die Aufgabe gegeben werden herauszufinden, wodurch die Situation zustande kam. Hierdurch könnten Hypothesen dazu gewonnen werden, welche Faktoren im kindlichen Experimentierverhalten neben der Kontrolle von Variablen bedeutsam sein könnten. Die Perspektive auf das kindliche Experimentieren könnte so auf Aspekte erweitert werden, die jenseits der normativen Vorstellung bestehen, dass „gutes“ wissenschaftliches Experimentieren die Berücksichtigung der Variablenkontrollstrategie beinhalten muss.

Die Ergebnisse zur Entwicklung der Fähigkeit zur Hypothesengenerierung regen zu einer Reihe weiterer Forschungsarbeiten an. Insbesondere in methodischer Hinsicht sollte die Aufgabe mittels weiterer Studien verbessert werden (vgl. Kapitel VII.2.2.2). Unabhängig davon ist der Befund, dass Kindergartenkinder mit einer Aufgabe zu dieser Komponente besonders große Schwierigkeiten hatten, vor dem Hintergrund der in diesem Alter vorliegenden naiven Theorien, die den Kriterien wissenschaftlicher Theorien genügen, etwas überraschend. Kernwissenstheoretiker belegten, dass Kindergartenkinder in grundlegenden Inhaltsbereichen über solche naiven Theorien verfügen, machten jedoch keine übereinstimmenden Angaben dazu, durch welche Mechanismen die Theorieentwicklung erfolgt (vgl. Kapitel I.2.2). In Kapitel I.5 wurde die Überlegung geäußert, dass Befunde zur Entwicklung der Hypothesengenerierfähigkeit unter Verwendung eines vorwissensfreien Untersuchungsparadigmas dazu beitragen könnten, Hypothesen zur Entstehung naiver Theorien abzuleiten. Die Ergebnisse der Kindergartenkinder zu dieser Komponente legen zunächst nahe, dass die Entwicklung naiver Theorien nicht durch die vorwissensfreie flexible Generierung und Adaptation von Hypothesen aus sukzessiv gesammelten Informationen

erfolgt (vgl. Kapitel II.3). Die Methode des Erkenntnisgewinns, die stattdessen im Kindergartenalter beherrscht wird, scheint die der Evidenzbewertung zu sein. Kindergartenkinder scheinen den Ergebnissen dieser Arbeit zufolge grundsätzlich Evidenzen auf Theorien beziehen zu können. Wie sie aber vollständig neue Hypothesen und Theorien generieren, ist den Ergebnissen dieser Arbeit nicht zu entnehmen. Vermutlich können sie dies nicht unabhängig von inhaltlichem Vorwissen.

Auf der Basis von Studie 3 wurde bereits die Überlegung angestellt, andere Maße zur Erfassung möglicher Zusammenhänge zwischen den Komponenten des wissenschaftlichen Denkens und den sprachlichen Fähigkeiten von Kindern zu verwenden, um genauere Aussagen zum Einfluss des Verbalisierens von Denkprozessen auf das wissenschaftliche Denken treffen zu können (vgl. Kapitel VII.1.1.2). Zur Überprüfung der Frage, ob sozial-interaktive Faktoren entscheidend zur Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens beitragen, sollte in zukünftigen Studien außerdem der Faktor der Häufigkeit der Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen Inhalten berücksichtigt werden. In Studie 3 wurde dieser Faktor nicht erfasst und im verknüpften Modell nicht erwähnt. Insbesondere für Fördermöglichkeiten im Rahmen naturwissenschaftlicher Bildungsprogramme wäre es interessant zu erfahren, ob die Förderung sozial-interaktiver Faktoren oder die Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen Inhalten das wissenschaftliche Denken effektiver befördern. Hierzu könnte eine Studie durchgeführt werden, in der eine Intervention zu sozial-interaktiven Kompetenzen, wie z.B. der „conversational approach“ von Appleton und Reedy (2006) zur Förderung des Verständnisses falschen Glaubens, mit einer Intervention zur Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen Phänomenen (z.B. Lück, 2004) vergleichend im Hinblick auf die Förderung des wissenschaftlichen Denkens evaluiert wird. Sollte sich erstere als effektiver herausstellen, würde dies für eine entscheidende Rolle der sozial-interaktiven Faktoren sogar im Vergleich zu gängigen inhaltsbezogenen Ansätzen sprechen. Weiterhin sollten zukünftige Studien der Einfluss von Problemlösungs- und Explorationstendenzen, wie von Case (1999; vgl. Kapitel I.2.1.4) vorgeschlagen, berücksichtigen.

Im Rahmen von Studie 3 wurde mittels zweier Regressionsanalysen die prädiktive Beziehung zwischen dem basalen Experimentierverständnis und dem Verständnis falschen Glaubens ermittelt. Hierbei werden interindividuelle Unterschiede in den jeweiligen Kompetenzen durch die Verwendung anderer Fähigkeiten statistisch „aufgeklärt“. Studie 3 beschäftigte sich daher bereits in gewissem Sinne mit differentiellen Aspekten des wissenschaftlichen Denkens. Zukünftige Forschungsarbeiten könnten sich noch spezifischer mit interindividuellen Unterschieden im wissenschaftlichen Denken sowie der Entwicklung dieser interindividuellen Unterschiede beschäftigen. Klahr (2000) beschrieb nach der

Auswertung seiner mikrogenetischen Studien unter Verwendung des „Big Trak“ (vgl. Kapitel I.4) unterschiedliche „Typen“ unter seinen erwachsenen Versuchspersonen. Diese Typen gehen unterschiedlich an Situationen heran, in denen etwas Neues entdeckt werden muss. Nach Klahr (2000) gibt es die Gruppe der „Experimenters“ und die Gruppe der „Theorists“. Die „Experimenters“ führten sehr viele Experimente durch, ohne zuvor Hypothesen aufgestellt zu haben, und versuchten hauptsächlich, durch reines Ausprobieren zu einer Lösung zu kommen. Sie verwendeten während ihrer Versuche häufig Ausdrücke wie „ich probiere mal dies“ oder „ich versuch mal so“ (Klahr, 2000). Sie zeigten eher ein exploratives Verhalten, fast im Sinne der „Experimente, um zu sehen“ nach Piaget (1975; vgl. Kapitel I.2.1.3). Die „Theorists“ dagegen stellten explizit immer neue Hypothesen auf und sammelten häufig auch falsifizierende Evidenzen. Traten falsifizierende Evidenzen auf, wurde nicht sofort die aktuelle Hypothese verworfen, sondern es wurde zunächst nach Ursachen für die erwartungskonträren Ergebnisse gesucht. Fanden die Personen keine Ursachen, stellten sie häufig neue Hypothesen auf. Die „Theorists“ und die „Experimenters“ kamen etwa gleich häufig ans Ziel, jedoch benötigten die „Theorists“ weniger Zeit und Versuche hierfür. Klahr (2000) interpretierte diese Verhaltensunterschiede im Rahmen des SDDS-Modells als Bevorzugung einer bestimmten kognitiven Komponente. Die „Experimenters“ bevorzugten das Experimentieren, während die „Theorists“ das Hypothesengenerieren verstärkt nutzen. Das wissenschaftliche Denken kann nach Klahr (2000) gefördert werden, in dem die jeweils andere bisher seltener genutzte kognitive Komponente aktiviert wird. Eine bisher unbeantwortete Frage ist allerdings, wann und durch welche Mechanismen sich Unterschiede in der Bevorzugung bestimmter kognitiver Komponenten während der Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens zeigen. Diese Frage könnte in zukünftigen Studien untersucht werden, um noch gezieltere individuelle Fördermaßnahmen zu entwickeln.

Abschließend soll darauf hingewiesen werden, dass die Auswahl der Modelle, auf denen die Studien dieser Arbeit beruhen, die Auswahl der Theorien der kognitiven Entwicklung, auf die die Ergebnisse bezogen wurden (vgl. Kapitel I und VII.1.1.2), und ebenso die Auswahl der Methoden den subjektiven Überzeugungen der Autorin unterlag. Sowohl das SDDS-Modell als auch das Modell des epistemologischen Wissens nach Kuhn weisen eine umfassende empirische Fundierung auf und schienen der Autorin auf theoretischer Ebene nachvollziehbar. Insbesondere die Unterscheidung des bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denkens in die drei Komponenten des Hypothesengenerierens, des Experimentierens und der Evidenzbewertung erwies sich für die Studien dieser Arbeit als fruchtbar. Allerdings unterlag die Entscheidung für die Verwendung dieser Modelle sicherlich den unbewussten normativen Vorstellungen der Autorin, dass „gutes“ wissenschaftliches

Denken durch diese Komponenten gekennzeichnet sein sollte und sich im Laufe der Kindheit entweder synchron oder asynchron aus anderen Kompetenzen oder externen Einflüssen heraus entwickelt. Hardy et al. (2010) schlagen beispielsweise ein grundlegend anderes Modell zu naturwissenschaftlicher Kompetenzentwicklung vor, dass sich ausschließlich auf die Entwicklung bestimmter Inhaltsbereiche stützt. In diesem Modell werden drei Kompetenzniveaus unterschieden. Auf der ersten Stufe liegen naive Vorstellungen vor, die einer empirischen Prüfung nicht standhalten. Auf der zweiten Stufe sind bereits Zwischenvorstellungen vorhanden, mit denen naturwissenschaftliche Phänomene begrenzt erklärt werden können. Die dritte Stufe zeichnet sich schließlich dadurch aus, dass Vorstellungen vorliegen, die auf in der Wissenschaft geteilten Konzepten beruhen. Annahmen zu den Mechanismen des Voranschreitens von einem Kompetenzniveau auf das nächst höhere werden explizit nicht formuliert, es scheint jedoch die Zunahme inhaltspezifischen Wissens für relevant gehalten zu werden. Die Autorin dieser Arbeit, dieses oder ein ähnliches Modell nicht zu verwenden und sich nicht auf das bereichsspezifische wissenschaftliche Denken zu konzentrieren, basiert auf der (mehr oder weniger bewussten) Idee, dass es jenseits des inhaltspezifischen Wissenserwerbs noch weitere Kompetenzen geben muss, die für die Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens verantwortlich sein könnten. Diese Hypothese könnte falsifiziert werden, wenn es in zukünftigen Studien gelingt, das wissenschaftliche Denken ausschließlich auf Grundlage inhaltspezifischen Wissens zu erklären. Die Autorin versucht, nicht zu glauben, dass sie weiß, was sie noch nicht weiß (vgl. Lichtenberg, 1984). Viele alternative, möglicherweise bessere Zugänge zur Beschreibung und Erklärung der Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens sind möglich.

## 2. Vorschläge für zukünftige Anwendungsbereiche

---

Die vorliegende Arbeit ist der entwicklungspsychologischen Grundlagenforschung zuzuordnen. Es wurde keine Intervention zur Förderung des bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denkens durchgeführt, so dass die Ergebnisse dieser Arbeit nur vorsichtige Empfehlungen für naturwissenschaftliche Bildungsprogramme liefern können. Dennoch sollen an dieser Stelle einige Vorschläge für Praktiker zusammengestellt werden, die Gegenstände späterer Studien aus der Anwendungsforschung sein könnten. Hierbei werden als Arbeitsgrundlage die methodischen und theoretischen Kritikpunkte, die die Ergebnisse dieser Arbeit in Frage stellen könnten und die in zukünftigen Studien weiter zu untersuchen sind, vorläufig nicht berücksichtigt.

Im Kindergartenalter zeigte sich in Studie 1 und 2 übereinstimmend ein beginnendes Verständnis für die Hypothese-Evidenz-Relation. Den Kindern fiel es nicht schwer, Evidenzen vor dem Hintergrund verschiedener Hypothesen zu interpretieren, sofern die Evidenzen eindeutig für eine Hypothese sprachen (vgl. Kapitel II.3 und III.3). Die Interpretation uneindeutiger Evidenzen ebenso wie die Identifikation eines konklusiven Experiments und die flexible Hypothesengenerierung und –adaptation scheint den meisten Kindergartenkindern noch Schwierigkeiten zu bereiten, wobei sich die Interpretation uneindeutiger Evidenzen im Laufe des Kindergartenalters verbessert (vgl. Kapitel III.3).

Für frühpädagogische Fördermaßnahmen könnten diese Ergebnisse zwei mögliche Implikationen beinhalten. Erstens könnte die Bewertung uneindeutiger Evidenzen ein sinnvoller Schwerpunkt frühpädagogischer Interventionsmaßnahmen darstellen (vgl. Kapitel III.4). Wygotsky (1969) beurteilte pädagogische Bemühungen dann als gut, wenn sie dem Entwicklungsstand immer einen Schritt voraus sind, denn dadurch werden „die Funktionen, die sich im Stadium der Reifung befinden und in der Zone der nächsten Entwicklung liegen, geweckt und ins Leben gerufen“ (S. 242; vgl. Kapitel I.2.3). Wird gemäß den Ergebnissen dieser Arbeit davon ausgegangen, dass Kinder im Alter von etwa vier Jahren die grundlegende Beziehung zwischen eindeutigen Evidenzen und Hypothesen verstehen, könnte das Bewerten uneindeutiger Evidenzen genau in dieser Zone der proximalen Entwicklung liegen (vgl. Kapitel III.4). Ist dies der Fall, dann würde dies bedeuten, dass Kindergartenkinder ohne entsprechende Instruktion uneindeutige Evidenzen nicht interpretieren können, mit einer entsprechenden Anleitung allerdings durchaus dazu in der Lage sind, dies zu erlernen. Die Ergebnisse von Studie 1 und 2 weisen darauf hin, dass Kindergartenkinder die Interpretation uneindeutiger Evidenzen erlernen können. Der Vergleich der Ergebnisse von Studie 1 und 2 zeigte einen Niveauunterschied der Leistungen der Kinder bei der Aufgabe zur nicht perfekten Kovariation, der möglicherweise auf Testwiederholungseffekte aufgrund des längsschnittlichen Designs von Studie 2 zurückzuführen ist (vgl. Kapitel IV). Sollten Testwiederholungseffekte eine Rolle gespielt haben, würde dies bedeuten, dass Kindergartenkinder allein aufgrund von wiederholter Konfrontation mit uneindeutigen Evidenzen gelernt haben, wie diese zu interpretieren sind. Klahr und Chen (2003) belegten zudem in einer Studie an Vorschulkindern, dass diese mittels eines gezielten Trainings gelernt haben, eindeutige von uneindeutigen Evidenzen zu unterscheiden und zu beurteilen, ob es möglich ist, auf der Grundlage unterschiedlich eindeutiger Evidenzen zu einer eindeutigen Schlussfolgerung zu gelangen. Die Fähigkeit zur Interpretation uneindeutiger Evidenzen scheint folglich nicht ohne Förderung vorzuliegen (vgl. Kapitel II), jedoch deuten Befunde darauf hin, dass diese Fähigkeit im Kindergartenalter trainierbar ist.

Zweitens könnte die Förderung der Interpretation uneindeutiger Evidenzen dazu dienen, auf das Verständnis experimenteller Vorgehensweisen vorzubereiten. Die Ergebnisse aller drei Studien zum basalen Experimentierverständnis weisen darauf hin, dass Kindergartenkinder zwischen dem Ziel, einen gewünschten Effekt zu erreichen (in der Mause Aufgabe: Das Füttern der Maus) und dem Ziel, eine Hypothese zu prüfen, noch nicht klar unterscheiden können. Das Verständnis dafür, was durch ein Experiment erreicht werden soll, scheint demzufolge im Kindergartenalter nur begrenzt vorhanden zu sein (vgl. Kapitel II, III und VI). Am Ende des Kindergartenalters und zu Beginn des Grundschulalters dagegen weist auch diese Komponente des bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denkens Fortschritte auf. Insbesondere das letzte Kindergartenjahr könnte daher dafür genutzt werden, das Experimentierverständnis zu fördern. Dies könnte im Rahmen einer Konfrontation mit einer uneindeutigen Situation geschehen, in der ein Experiment für Klarheit sorgen könnte. Dadurch könnte die Herstellung einer größeren Sicherheit in Bezug auf bestimmte Hypothesen in einer uneindeutigen Situation mit der Durchführung eines Experiments verknüpft werden, so dass schließlich ein Verständnis dafür geweckt wird, was Experimente leisten können (vgl. Kapitel II.4 und VI.4). Währenddessen sollte die anleitende Erzieherin/ der anleitende Erzieher den Denkprozess vor, während und nach dem Experimentierprozess gemeinsam mit den Kindern formulieren (vgl. Kapitel II.4 und VI.4), beispielsweise in dem herausgestellt wird, dass man etwas bestimmtes *nicht genau weiß*, es gerne *herausfinden* möchte, sich *überlegt*, wie man das herausfinden könnte, ein *Experiment* durchführt, dann darüber *nachdenkt*, was herausgekommen ist, sich *erinnert*, was man vorher *gedacht* hat, und was man jetzt nach dem Experiment *denkt*. Auf diese Weise würde das Experimentieren explizit in einen bewussten Denkprozess eingebettet. Dies könnte das Verständnis dafür, dass Experimente nur innerhalb eines forschenden Prozesses einen Sinn ergeben und daher konklusiv sein sollten, befördern.

Dieses Verständnis könnte anschließend im Grundschulalter weiter ausgebaut werden, in dem die Techniken der Variablenkontrollstrategie eingeführt werden. Chen und Klahr (1999), Toth, Klahr und Chen (2000) sowie Strand-Cary und Klahr (2008) zeigten, dass es möglich ist, Grundschulkindern nicht nur die Anwendung der Variablenkontrollstrategie, sondern auch den Transfer dieser Strategie auf unterschiedliche Inhalte beizubringen. Nach Bullock und Ziegler (1999) können Grundschulkindern unter mehreren möglichen Experimenten das kontrollierte Experiment auswählen, jedoch noch nicht selbstständig ein kontrolliertes experimentelles Design aufstellen (vgl. Kapitel I.4.2). Die Zone der proximalen Entwicklung im Grundschulalter scheint sowohl diesen Ergebnissen als auch den Ergebnissen dieser Arbeit zufolge im Bereich des Verständnisses für experimentelle Strategien zu liegen.

An die Überlegungen zum Experimentierverständnis in der frühen Kindheit schließt sich die Frage an, was insbesondere jüngere Kindergartenkinder verstehen, wenn mit ihnen im Rahmen von Bildungsprogrammen zur naturwissenschaftlichen Förderung experimentiert wird, ohne dass eine explizite Beschreibung von Gedanken und damit eine Einbettung in einen forschenden Prozess erfolgt. Die Verwendung von Experimenten in frühpädagogischen Bildungsprogrammen ist im letzten Jahrzehnt zu einer gängigen Vorgehensweise geworden. Zwei Beispiele im deutschsprachigen Raum stellen die überregionalen Förderprojekte der Stiftung „Das Haus der kleinen Forscher“ (Hecker & Hein, 2007) und „Natur-Wissen schaffen“ (Fthenakis et al., 2009) dar. In beiden Förderprogrammen werden Experimente als pädagogische Leitmethode eingesetzt. Das Verständnis der Kindergartenkinder für experimentelle Vorgehensweisen wird nicht explizit unterstützt. Auf der Homepage der Stiftung von „Das Haus der kleinen Forscher“ wird allerdings auch nicht der Anspruch erhoben, dass durch Interventionen, die das Programm vorschlägt, das Verständnis für Experimente gefördert werden soll. Stattdessen wird zum Experimentieren folgende Annahme formuliert:

„Zum Experimentieren gehören der Spaß am Ausprobieren und das Entdecken interessanter Phänomene. Ein Experiment ist immer eine "Frage an die Natur". Das Ergebnis ist dabei nie "richtig" oder "falsch", es geht vielmehr um die eigenen Beobachtungen der Kinder. Oft gibt die Natur überraschende Antworten, die neue Fragen erwecken. Begeisterung und Lernfreude entstehen durch Erfolgserlebnisse und Erkenntnisse, die zum weiteren Forschen motivieren“ (Stiftung "Das Haus der kleinen Forscher", 2012).

Die Tätigkeit des Experimentierens wird hier mit explorativen Verhaltensweisen gleichgesetzt, die nicht in einen umfassenden Denk- und Entdeckungsprozess eingebettet werden. Die Definition von Experimenten ist eine andere als die in dieser Arbeit und ähnelt eher den von Piaget (1973; vgl. Kapitel I.2.1.3) beschriebenen „Experimenten um zu sehen“. Die vom „Haus der kleinen Forscher“ vorgeschlagenen Experimente dienen hauptsächlich dazu, interessante Effekte zu erzielen. Ein Beispiel ist das Löschen von Kerzenflammen durch das Überstülpen unterschiedlich großer Gläser. Die Kinder sollen beobachten, dass die Kerzenflammen je nach Größe der Gläser unterschiedlich schnell erlöschen. Hierdurch sollen die Kinder lernen, dass dies geschieht, weil unterschiedlich viel Luft in den Gläsern ist, Luft Sauerstoff beinhaltet und Feuer Sauerstoff zum Brennen benötigt. Die Anleitung zur Durchführung dieses Experiment ist sehr ausführlich formuliert, jedoch bleibt die Frage offen, wie genau den Kindern die Botschaft dieses Experiments, dass der Sauerstoff eine Rolle spielt, vermittelt werden soll (vgl. Stiftung „Das Haus der kleinen Forscher, 2012). Wenn mit den Kindern zuvor keinerlei Hypothesen dazu aufgestellt wurden, warum eine Flamme

brennt und was sie dafür braucht, und nach der Durchführung des Experiments die Ergebnisse nicht gemeinsam besprochen werden, dann bleibt das Experiment ein gedanklich isolierter, interessanter, aber dennoch weitgehend unverstandener Versuch.

Dies stellt keinen umfassenden Kritikpunkt an den Konzepten, die durch das „Haus der kleinen Forscher“ und „Natur-Wissen schaffen“ entwickelt wurden, dar. Möglicherweise erreichen solche und ähnliche Programme mittels ihrer fantasievollen Geschichten und Materialien genau die von ihnen intendierte Begeisterung und Lernfreude (vgl. hierzu Fthenakis et al., 2009; Hecker & Hein, 2007) und fördern somit die Motivation von Kindergartenkindern, sich mit naturwissenschaftlichen Inhalten zu befassen. Dieses Vorhaben ist in jedem Fall zu unterstützen. Nach den Ergebnissen dieser Arbeit ist jedoch zu hinterfragen, ob ausschließlich Experimente als Leitmethode verwendet werden sollten, wenn das Verständnis für den Sinn dieser Methode im Kindergartenalter möglicherweise noch nicht vollständig ausgeprägt ist. Außerdem ist zu diskutieren, ob die thematischen Einheiten solcher Programme mit einem Experiment *beginnen* müssen. Möglicherweise kann die Aufmerksamkeit von Kindergartenkindern mittels eines spannenden Effektes, den ein Experiment hervorruft, auf bestimmte Themengebiete gelenkt werden. Jedoch kann ein Experiment nur dann verstanden werden, wenn *zuvor* nach Hypothesen, Ideen oder Vorschlägen zu einem Phänomen gefragt wurde.

Die Ergebnisse dieser Arbeit legen nahe, dass naturwissenschaftliche Förderprogramme insbesondere im frühpädagogischen Bereich durch eine differenzierte Betrachtung des Verständnisses der Methoden des Erkenntnisgewinns optimiert werden könnten. Zudem kann aus den Ergebnissen dieser Arbeit abgeleitet werden, dass der Einfluss metakognitiver Kompetenzen und das übergeordnete epistemologische Verständnis von Kindern nicht unterschätzt werden sollten. Nach den Erfahrungen aus den Studien dieser Arbeit und einer Reihe informeller Gespräche mit den PraktikerInnen, die die Untersuchungen unterstützt haben, ist die Autorin zu der (noch nicht ausreichend belegten und damit etwas spekulativen) Überzeugung gelangt, dass naturwissenschaftliche Förderung im Kindergarten- und Grundschulalter mehr erfordert als die Zusammenstellung interessanter Materialien und Experimente. Die Neugierde und der Wissensdurst von Kindergarten- und Grundschulkindern für naturwissenschaftliche Phänomene und ihr Staunen bei der Betrachtung interessanter experimenteller Effekte sollten nicht darüber hinwegtäuschen, dass nicht nur ihr inhaltliches bereichsspezifisches naturwissenschaftliches Wissen begrenzt ist. Auch ihr Verständnis für das, was dort geschieht, wenn sie selbst oder ein Anderer ein Experiment durchführt, und warum es geschieht, ist in diesem Alter möglicherweise nur eingeschränkt vorhanden.

Abschließend soll das Beispiel von Ansari (2012) aus Kapitel I.1 auf die Erkenntnisse aus dieser Arbeit bezogen werden. Ansari berichtete von dem Versuch einer Erzieherin, Kindergartenkindern die Phänomene des Schwimmens und Sinkens verständlich zu machen. Die Erzieherin führte ein Experiment durch, und den Kindern fiel es zunächst nicht schwer, zwischen Schwimmern und Nichtschwimmern zu unterscheiden. In der Terminologie des SDDS-Modells bedeutet dies, dass sie die Evidenzen vollkommen richtig bewerteten. Anschließend kam es zu einer für die Erzieherin unerwarteten Reaktion der Kinder auf den Kunststoffisch. Die Kinder behaupteten, dass der Kunststoffisch nicht schwimme, obwohl er oben auf dem Wasser lag. Diese Reaktion der Kinder könnte auf begriffliche Schwierigkeiten zurückzuführen sein. Der Begriff „schwimmen“ ist zweideutig. „Schwimmen“ kann das von der Erzieherin intendierte „schweben auf der Wasseroberfläche“ bedeuten, das den Gegensatz zum „sinken unter die Wasseroberfläche“ bildet. „Schwimmen“ kann aber auch die aktive Bewegung von Fischen im Wasser meinen. Interessant hierbei ist, dass die Kinder zunächst sehr wohl die von der Erzieherin intendierte Bedeutung von „schwimmen“ verstanden hatten, ihre Interpretation allerdings ausgerechnet beim Anblick des *Fischs* änderten. Aus Sicht der Forschung zum bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denken ist dies zu erklären. Die Kinder entschieden genau dann, als ihnen eine Situation dargeboten wurde, in der sie sich entweder auf ihr Vorwissen oder auf die Evidenzen verlassen konnten, ausschließlich auf Grundlage ihres Vorwissens, in diesem Fall zum üblichen Schwimmverhalten von Fischen (vgl. Kapitel I.3). Im Falle des Kunststoffischs lag eine Konfundierung aus Vorwissen und Evidenzen vor. Gemäß Koslowski (1996) handelten die Kinder vollkommen wissenschaftlich, in dem sie sich auf ihr Vorwissen verließen, da auch kein Wissenschaftler eine bisher bewährte Hypothese aufgrund einer falsifizierenden Evidenz verwerfen würde. Kinder sind möglicherweise, wie Ansari (2012) feststellte, keine Physiker. Dennoch verhielten sie sich in diesem Beispiel in methodischer Hinsicht „wie Wissenschaftler“.

Darüber hinaus verdeutlicht das Eingangsbeispiel die Möglichkeiten und Grenzen des bereichsübergreifenden wissenschaftlichen Denkens im Kindergartenalter. Die Kinder konnten bei vorwissensunabhängigen Materialien problemlos Evidenzen bewerten, was den Ergebnissen dieser Arbeit entspricht. Die plötzliche Veränderung der Reaktionen der Kinder von einer rein evidenzbasierten zu einer rein vorwissensbasierten Interpretation der Situation, als der Kunststoffisch dargeboten wurde, könnte schlicht dadurch zustande gekommen sein, dass die Kinder zuvor nicht verstanden hatten, warum die Erzieherin den Versuch durchführt. Die Erzieherin wollte vermutlich den Zusammenhang zwischen Materialeigenschaften und Schwimmverhalten demonstrieren. An keiner Stelle wird erwähnt, ob den Kindern diese Intention erklärt worden ist. Die Intention hinter einem Experiment zu

verstehen ist jedoch unerlässlich, um die aus ihm resultierenden Evidenzen tatsächlich interpretieren zu können. Auch wenn das Problem mit dem Kunststofffisch nicht aufgetreten wäre, scheint daher fraglich, ob die Kinder aus diesem Versuch tatsächlich etwas über das Schwimmverhalten unterschiedlicher Materialien hätten lernen können. Wenn sie nicht verstehen, dass unterschiedliche Materialien auf das Wasser gelegt werden, weil die Hypothese geprüft werden soll, dass manche Materialien auf dem Wasser schweben und andere nicht, dann werden die Kinder anschließend lediglich Evidenzen beschreiben können („das sinkt“, „das schwimmt“), aber sie werden dies nicht auf das Material der Dinge zurückführen können. Das Eingangsbeispiel verdeutlicht, dass die metakognitiven Anforderungen, die das Experimentieren an Kindergartenkinder stellt, von Praktikern möglicherweise unterschätzt werden. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit stellen die überwiegende Verwendung von Experimenten als pädagogische Leitmethode zur frühkindlichen naturwissenschaftlichen Bildung in Frage. Sie laden stattdessen dazu ein, sich zukünftig über weitere ergänzende oder alternative pädagogische Methoden Gedanken zu machen, die der naturwissenschaftlichen Neugier von Kindergartenkindern entwicklungsgerechter entgegenkommen.

## IX. Literatur

---

- Amsel, E. & Brock, S. (1996). The development of evidence evaluation skills. *Cognitive Development*, 11 (4), 523-550.
- Ansari, S. (2012). *Kinder sind Forscher ohne Pipette*. Online im Internet: URL: <http://www.taz.de/1/archiv/digitaz/artikel/?ressort=bi&dig=2012%2F02%2F29%2Fa028&cHash=debe1a5f97> (letzter Abruf: 20.11.2012).
- Appleton, M., & Reddy, V. (2006). Teaching three year-olds to pass false belief tests: A conversational approach. *Social Development*, 5 (3), 275-291.
- Asendorpf, J. (2007). *Psychologie der Persönlichkeit*. 4. Aufl., Springer-Verlag
- Astington, J. W. & Gopnik, A. (1991). Theoretical explanations of children's understanding of the mind. *British Journal of Developmental Psychology*, 9, 7-31.
- Astington, J. W. & Jenkins, J. M. (1999). A longitudinal study of the relation between language and theory-of-mind development. *Developmental Psychology*, 35 (3), 1311-1320.
- Astington, J. W., Pelletier, J. & Homer, B. (2002). Theory of mind and epistemological development: The relation between children's second-order false-belief understanding and their ability to reason about evidence. *New Ideas in Psychology*, 20, 131-144.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. Oxford, England: Oxford University Press.
- Baillargeon, R. (1987). Young infants' reasoning about the physical and spatial characteristics of a hidden object. *Cognitive Development*, 2, 179-200.
- Baillargeon, R. (1992). The object concept revisited. *Visual perception and cognition in infancy. Carnegie - Mellon Symposia on Cognition*, 23. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Baldwin, J. M. (1894). *The development of the child and of the race*. New York: Mac Millan. (Nachdruck von A. M. Kelley, 1968).
- Bortz, J. (1999). *Statistik für Sozialwissenschaftler*. 5. Auflage, Springer: Berlin, Heidelberg.
- Bortz, J., Lienert, G. A. & Boehnke, K. (2008). *Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik*. 3. korrigierte Auflage, Springer: Berlin, Heidelberg.
- Brewer, W. & Samarapungavan, A. (1991). Children's theories vs. scientific theories: Differences in reasoning or differences in knowledge? In R. Hoffmann & D. Palermo (Eds.), *Cognition and the symbolic processes*, 209-232. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Bruner, J. S., Goodnow, J. J. & Austin, G. A. (1956). *A study of thinking*. New York, NY: John Wiley & Sons.
- Bulheller, S. & Haecker, H. (2002). *Coloured Progressive Matrices (CPM) (3<sup>rd</sup> ed.)*. Frankfurt/Main: Sweits Test Services.
- Bullock, M. (1984). Preschool children's understanding of causal connections. *British Journal of Developmental Psychology*, 2, 139-148.
- Bullock, M., & Sodian, B. (2003). Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens. In W. Schneider & M. Knopf (Hrsg.), *Entwicklung, Lehren und Lernen*, 75-92. Göttingen: Hogrefe.

- Bullock, M. & Ziegler, A. (1999). Scientific reasoning: Developmental and individual differences. In F. E. Weinert & W. Schneider (Eds.), *Individual development from 3 to 12: Findings from the Munich Longitudinal Study*, 38-54. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Carey, S. (1990). Cognitive development. In D. N. Osherson & E. E. Smith (Eds.), *An invitation to cognitive science*, 3, 147-172. Cambridge, MA: MIT Press.
- Carey, S. (1991). Knowledge acquisition: Enrichment or conceptual change? In S. Carey & R. Gelman (Eds.), *The epigenesis of mind: Essays on biology and cognition*, 257-291. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Carey, S. (2000). Science education as conceptual change. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 21 (1), 13-19.
- Carey, S. & Smith, C. (1993). On understanding the nature of scientific knowledge. *Educational Psychologist*, 28 (3), 235-251.
- Carey, S. & Spelke, E. (1994). Domain-specific knowledge and conceptual change. In L. A. Hirschfeld & S. A. Gelman (Eds.), *Mapping the mind: Domain specificity in cognition and culture*, 169-200. New York: Cambridge University Press.
- Carlson, S. M., Mandell, D. J. & Williams, L. (2004). Executive function and theory of mind: Stability and prediction from ages 2 to 3. *Developmental Psychology*, 40 (6), 1105-1122.
- Carpendale, J. I. & Chandler, M. J. (1996). On the distinction between false belief understanding and subscribing to an interpretive theory of mind. *Child Development*, 67, 1686-1706.
- Carpendale, J., I. & Lewis, C. (2006). *How children develop social understanding* (Vol. 20). Wiley-Blackwell.
- Case, R. (1998). The development of conceptual structures. In W. Damon, R. M. Lerner, D. Kuhn & R. S. Siegler (Eds.), *Handbook of Child Psychology, Cognition, Perception, and Language*, 745-801. John Wiley and Sons, UK.
- Case, R. (1999). *Die geistige Entwicklung des Menschen – Von der Geburt bis zum Erwachsenenalter*. Universitätsverlag C. Winter, Heidelberg.
- Case, R., Marra, K., Bleiker, C. & Okamoto, Y. (1996). Central spatial structures and their development. In R. Case & Y. Okamoto (Eds.), *The role of central conceptual structures in the development of children's thought. Monographs of the Society for Research in Child Development*, 60 (5/6).
- Case, R. & Snowder, J. (1990). The development of computational estimation: A neo-Piagetian analysis. *Cognition and Instruction*, 7, 79-104.
- Chen, Z. & Klahr, D. (1999). All other things being equal: Acquisition and transfer of the control of variables strategy. *Child development*, 70 (5), 1098-1120.
- Chi, M. T. H. (1976). Short term memory limitations in children: Capacity or processing deficits? *Memory and Cognition*, 23, 266-281.
- Chomsky, N. (1988). *Language and problems of knowledge*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Conan Doyle, Sir A. (1892). *The Adventures of Sherlock Holmes*. 11. Aufl. 1994, Penguin Popular Classics, London, England.
- Courage, M. L. & Howe, M. L. (2002). From infant to child: The dynamics of cognitive change in the second year of life. *Psychological bulletin*, 128 (2), 250-277.
- Crick, F. (1988). *What Mad Pursuit: A Personal View of Scientific Discovery*. New York: Basic Books.

- Crocker, S. & Buchanan, H. (2011). Scientific reasoning in a real-world context: The effect of prior belief and outcome on children's hypothesis-testing strategies. *British Journal of Developmental Psychology*, 29 (3), 409-424.
- Davis, H. L. & Pratt, C. (1995). The development of children's theory of mind: The working memory explanation. *Australian Journal of Psychology*, 47, 25-31.
- Decker, S. L., Hill, S. K. & Dean, R. S. (2007). Evidence of construct similarity in executive functions and fluid reasoning abilities. *International Journal of Neuroscience*, 117, 735-748.
- deVilliers, J. G. & Pyers, J. E. (2002). Complements to cognition: A longitudinal study of the relationship between complex syntax and false-belief-understanding. *Cognitive Development*, 17, 1037-1060.
- Fay, A. L. & Klahr, D. (1996). Knowing about guessing and guessing about knowing: Preschoolers' understanding of indeterminacy. *Child Development*, 67, 689-716.
- Field, A. (2005). *Discovering statistics using SPSS*. 2<sup>nd</sup> ed. SAGE Publications, London.
- Fischer, K. W. (1980). A theory of cognitive development: The control and construction of hierarchies of skills. *Psychological Review*, 87, 477-531.
- Flavell, J. H. (1982). On cognitive development. *Child Development*, 53 (1), 1-10.
- Flavell, J. H. (1988). The development of children's knowledge about the mind: From cognitive connections to mental representations. In J. W. Astington, P. L. Harris & D. R. Olson (Eds.), *Developing theories of mind*, 244-267. New York: Cambridge University Press.
- Flavell, J. H., Green, F. L & Flavell, E. R. (1990). Developmental changes in young children's knowledge about the mind. *Cognitive Development*, 5, 1-27.
- Flavell, J. H., Miller, P. H. & Miller, S. A. (1993). *Cognitive development*. 3<sup>rd</sup> ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Fodor, J. A. (1983). *The modularity of the mind*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Fonagy, P., Gergely, G., & Target, M. (2007). The parent-infant dyad and the construction of the subjective self. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 48 (3-4), 288-328.
- Fthenakis, W. E., Schmitt, A., Eitel, A., Gerlach, F., Wendell, A. & Daut, M. (2009). *Natur-Wissen schaffen*. Band 5: Frühe Medienbildung. Troisdorf: Bildungsverlag EINS.
- Gathercole, S.E., Pickering, S.J., Knight, C. & Stegmann, Z. (2004). Working memory skills and educational attainment: Evidence from National Curriculum assessments at 7 and 14 years of age. *Applied Cognitive Psychology*, 18, 1-16.
- Gelman, S. A. (1998). *Concept development in preschool children*. Paper presented at the Forum on Early Childhood Science, Mathematics, and Technology Education. Washington, D. C.
- Gelman, S. A. & Wellman, H. M. (1991). Insides and essences: Early understandings of the non-obvious. *Cognition*, 38, 213-244.
- Gopnik, A. & Wellman, H. M. (1994). The theory theory. In L. A. Hirschfeld & S. A. Gelman (Eds.), *Domain specificity in cognition and culture*. New York: Cambridge University Press.
- Grimm, H. (2001). *Sprachentwicklungstest für drei- bis fünfjährige Kinder (SETK 3-5)*. Göttingen: Hogrefe.

- Hardy, I., Kleickmann, T., Koerber, S., Mayer, D., Möller, K., Pollmeier, J., Schwippert, K. & Sodian, B. (2010). Die Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz im Grundschulalter. Projekt Science-P. In E. Klieme, D. Leutner & M. Kenk (Hrsg.), *Kompetenzmodellierung. Zwischenbilanz des DFG Schwerpunktprogramms und Perspektiven des Forschungsansatzes*, Weinheim, Basel, Beltz, S. 115-125).
- Hasselhorn, M., Maehler, C. & Grube, D. (2005). Theory of mind, working memory, and verbal ability in preschool children: The proposal of a relay race model of the developmental dependencies. In W. Schneider, R. Schumann-Hengsteler & B. Sodian (Eds.), *Young children's cognitive development: Interrelationships among executive functioning, working memory, verbal ability, and theory of mind*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Hasselhorn, M., Schumann-Hengsteler, R., Grube, D., Koenig, J., Mähler, C., Schmid, I., Seitz-Stein, K. & Zoelch, C. (2011). *Arbeitsgedächtnistestbatterie für Kinder von 5 bis 12 Jahren (AGTB 5-12)*. Göttingen: Hogrefe.
- Hecker, J. & Hein, S. (2007). *Das Haus der kleinen Forscher: Spannende Experimente zum Selbermachen*. Rowohlt Verlag, Berlin.
- Hofer, B. & Pintrich, P. (1997). The development of epistemological theories: Beliefs about knowledge and knowing and their relation to learning. *Review of Educational Research*, 67, 88-140.
- Hofer, T. & Aschersleben, G. (2007). „Theory of mind“-Skala für 3- bis 5-jährige Kinder, 3. Aufl., München: Max Planck Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften.
- Horst, J. S., Oakes, L. M. & Madole, K. L. (2005). What does it look like and what can it do? Category structure influences how infants categorize. *Child Development*, 76 (3), 614-631.
- Hughes, C. (1998). Finding your marbles: Does preschoolers' strategic behavior predict later understanding of mind? *Developmental Psychology*, 34 (6), 1326-1339.
- Hughes, C., & Leekam, S. (2004). What are the links between theory of mind and social relations? Review, reflections and new directions for studies of typical and atypical development. *Social Development*, 13 (4), 590-619.
- Hussy, W., & Jain, A. (2002). *Experimentelle Hypothesenprüfung in der Psychologie*. Göttingen: Hogrefe.
- Inhelder, B., & Piaget, J. (1958). *The growth of logical thinking from childhood to adolescence*. New York, NY: Basic Books.
- Kalish, C.W. (2010). How children use examples to make conditional predictions. *Cognition*, 116, 1-14.
- Karmiloff-Smith, A. (1992). *Beyond modularity*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Kemler, D. G. & Smith, L. B. (1978). Is there a developmental trend from integrality to separability in perception? *Journal of Experimental Child Psychology*, 26, 498-507.
- Kiese-Himmel, C. (2005). *Aktiver Wortschatztest für 3- bis 5-jährige Kinder – Revision (AWST-R)*. Göttingen: Hogrefe.
- Klahr, D. (1978). Goal formation, planning, and learning by pre-school problem solvers or: "My socks are in the dryer." In R. S. Siegler (Ed.), *Children's thinking: What develops?*, 181-212. Hillsdale, NJ, England: Lawrence Erlbaum Associates.
- Klahr, D. (1994). Searching for cognition in cognitive models of science. *Psychology*, 5, 68.
- Klahr, D. (2000). *Exploring science: The cognition and development of discovery processes*. Cambridge, MA: MIT Press.

- Klahr, D. (2005). A framework for cognitive studies and technology. In M. Gorman, R. D. Tweney, D. C. Gooding & A. P. Kincannon (Eds.), *Scientific and technological thinking*, 81-95. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Klahr, D., & Carver, S. M. (1995). Scientific thinking about scientific thinking. *Monographs of the Society for research in Child Development*, 60 (4), 137-151.
- Klahr, D. & Chen, Z. (2003). Overcoming the positive capture strategy in young children: Learning about indeterminacy. *Child Development*, 74, 1275-1296.
- Klahr, D. & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 12, 1-48.
- Klahr, D., Fay, A. L. & Dunbar, K. (1993). Heuristics for scientific experimentation: A developmental study. *Cognitive psychology*, 25 (1), 111-146.
- Klahr, D. & Nigam, M. (2004). The equivalence of learning paths in early science instruction: Effects of direct instruction and discovery learning. *Psychological Science*, 15, 661-667.
- Klein, P. D. (1998). The role of children's theory of mind in science experimentation. *The Journal of Experimental Education*, 66 (2), 101-124.
- Koerber, S. (2006). Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens bei Vier- bis Achtjährigen. *Beiträge zur Lehrerbildung*, 24 (2), 192-201.
- Koerber, S., Sodian, B., Kropf, N., Mayer, D. & Schwippert, K. (2011). Die Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens im Grundschulalter: Theorieverständnis, Experimentierstrategien, Dateninterpretation. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 42 (1), 16-21.
- Koerber, S., Sodian, B., Thoermer, C. & Nett, U. (2005). Scientific reasoning in young children: Preschoolers' ability to evaluate covariation evidence. *Swiss Journal of Psychology*, 64 (3), 141-152.
- Koslowski (1996). *Theory and Evidence: The Development of Scientific Reasoning*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Kraehenbuehl, S., & Blades, M. (2006). The effect of question repetition within interviews on young children's eyewitness recall. *Journal of Experimental Child Psychology*, 94 (1), 57-67.
- Kraehenbuehl, S., Blades, M., & Westcott, H. (2010). 'What else should I say?' An analysis of the question repetition practiced in police interviews of 4-11-year-olds. *Police Practice and Research: An International Journal*, 11 (6), 477-490.
- Kuhn, D. (1989). Children and adults as intuitive scientists. *Psychological Review*, 96 (4), 674-689.
- Kuhn, D. (1999). A developmental model of critical thinking. *Educational Researcher*, 28, 16-25.
- Kuhn, D. (2000). Metacognitive development. *Current Directions in Psychological Science*, 9, 178-181.
- Kuhn, D. (2001). How do people know? *Psychological Science*, 12 (1), 1-8.
- Kuhn, D. (2003). Understanding and valuing knowing as developmental goals. *Liberal Education*, 89 (3), 16-21.
- Kuhn, D. (2009). The importance of learning about knowing: Creating a foundation for development of intellectual values. *Child Development Perspectives*, 3 (2), 112-117.
- Kuhn, D., Amsel, E. & O'Loughlin, M. (1988). *The development of scientific thinking skills*. Orlando, FL: Academic Press.

- Kuhn, D., Black, J., Keselman, A. & Kaplan, D. (2000). The development of cognitive skills to support inquiry learning. *Cognition and Instruction*, 18, 495–523.
- Kuhn, D., Cheney, R. & Weinstock, M. (2000). The development of epistemological understanding. *Cognitive Development*, 15, 309-328.
- Kuhn, D. & Dean, D. Jr. (2004). Metacognition: A bridge between cognitive psychology and educational practice. *Theory Into Practice*, 43 (4), 268–273.
- Kuhn, D., & Dean Jr, D. (2005). Is developing scientific thinking all about learning to control variables? *Psychological Science*, 16 (11), 866-870.
- Kuhn, D., Garcia-Mila, M., Zohar, A. & Andersen, C. (1995). Strategies of knowledge acquisition. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 60 (4, Serial No. 245).
- Kuhn, D. & Franklin, S. (2006). The second decade: What develops (and how). In: W. Damon, R.M. Lerner, D. Kuhn, & R.S. Siegler (Vol. Eds.): *Handbook of Child Psychology: Vol. 2. Cognition, Perception and Language* (6th ed.), 953-993. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Kuhn, D., Iordanou, K., Pease, M., & Wirkala, C. (2008). Beyond control of variables: What needs to develop to achieve skilled scientific thinking? *Cognitive Development*, 23 (4), 435-451.
- Kuhn, D. & Park, S. H. (2005). Epistemological understanding and the development of intellectual values. *International Journal of Educational Research*, 43, 111-124.
- Kuhn, D. & Pearsall, S. (1998). Relations between metastrategic knowledge and strategic performance. *Cognitive Development*, 13, 227–247.
- Kuhn, D. & Pearsall, S. (2000). Developmental origins of scientific thinking. *Journal of Cognition and Development*, 1, 113-129.
- Kuhn, D., Schauble, L. & Garcia-Mila, M. (1992). Cross-domain development of scientific reasoning. *Cognition and Instruction*, 9 (4), 285-327
- Lagattuta, K. H. & Sayfan, L. (2011). Developmental changes in children’s understanding of future likelihood and uncertainty. *Cognitive Development*, 26, 315-330.
- Lawson, A. E. (1993). Deductive reasoning, brain maturation, and science concept acquisition: Are they linked? *Journal of College Science Teaching*, 28, 401-411.
- Lawson, A. E. (2003). The nature and development of hypothetico-predictive argumentation with implications for science teaching. *International Journal of Science Education*, 25 (11), 1387-1408.
- Lawson, A. E. (2005). What is the role of induction and deduction in reasoning and scientific inquiry? *Journal of Research in Science Teaching*, 42 (6), 716-740.
- Leslie, A. M. (1986). Getting development off the ground: Modularity and the infant’s perception of causality. *Theory building in developmental psychology*, 406-437.
- Lewis, C., Freeman, N. H., Kyriakidou, C., Maridaki-Kassotaki, K., & Berridge, D. M. (2008). Social influences on false belief access: specific sibling influences or general apprenticeship?. *Child development*, 67 (6), 2930-2947.
- Lichtenberg, C. G (1984). Sudelbücher, Heft J., 1438. In F. H. Mauthner (Hrsg.), *Sudelbücher*, Insel Verlag, Frankfurt am Main.
- Lienert, G. & Raatz, A. (2001): *Testanalyse und Testkonstruktion*. Weinheim: Beltz.
- Lockl, K. & Schneider, W. (2007). Knowledge about the mind: Links between theory of mind and later metamemory. *Child Development*, 78 (1), 148-167.

- Lonka, K., Hakkarainen, K. & Sintonen, M. (2000). Progressive inquiry learning for children - Experiences, possibilities, limitations. *European Early Childhood Education Research Journal*, 8 (1), 7-23.
- Luria, A. R. (1982). *Die Funktion der Sprache in der geistigen Entwicklung des Kindes*. Frankfurt: Ullstein.
- Lück, G. (2004). Naturwissenschaftliche Bildung im Kindergarten. *kiga heute*, 1, 6-15.
- Mandler, J. & McDonough, L. (1993). Concept formation in infancy. *Cognitive Development*, 8, 291-318.
- Mähler, C. (1999). Naïve Theorien im kindlichen Denken. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 31 (2), 53-66.
- Meins, E., Fernyhough, C., Wainwright, R., Das Gupta, M., Fradley, E., & Tuckey, M. (2003). Maternal mind-mindedness and attachment security as predictors of theory of mind understanding. *Child Development*, 73 (6), 1715-1726.
- Mercer, N., Dawes, L., Wegerif, R. & Sams, C. (2004). Reasoning as a scientist: Ways of helping children to use language to learn science. *British Education Research Journal*, 30, 359-377.
- Müller, U., Miller, M. R., Michalczyk, K. & Karapinka, A. (2007). False belief understanding: The influence of person, grammatical mood, counterfactual reasoning and working memory. *British Journal of Developmental Psychology*, 25 (4), 615-632.
- Muthén, L. K. & Muthén, B. O. (2002). How to use a Monte Carlo study to decide on sample size and determine power. *Structural Equation Modeling*, 4, 599-620.
- Newell, A. & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving (Vol. 14)*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Niaz, M. & Logie, R. H. (1993). Working memory, mental capacity and science education: Towards an understanding of the "working memory overload hypothesis". *Oxford Review of Education*, 19, 511-525.
- Pauen, S. (1996). Kategorisierung im Säuglingsalter: die Unterscheidung globaler Objektklassen. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie*, 43, 600-624.
- Peirce, C. S. (1967). Die Festlegung einer Überzeugung. In Charles S. Peirce & Karl-Otto Apel (Hrsg.), *Schriften zum Pragmatismus und Pragmatizismus*, Band 1, S. 293-325. Suhrkamp, Frankfurt am Main.
- Penner, D. & Klahr, D. (1996). The interaction of domain-specific knowledge and domain general discovery strategies: A study with sinking objects. *Child Development*, 67, 2709-2727.
- Perner, J. (1991). *Understanding the representational mind*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Piaget, J. (1947). *Psychologie der Intelligenz – mit einer Einführung von Hans Aebli*. 10. Aufl. 2000, Klett-Cotta Verlag, Stuttgart.
- Piaget, J. (1972a). *Urteil und Denkprozess des Kindes*. 1. Aufl., Pädagogischer Verlag Schwann Düsseldorf.
- Piaget, J. (1972b). *Sprechen und Denken des Kindes*. 1. Aufl., Pädagogischer Verlag Schwann Düsseldorf.
- Piaget, J. (1973). *Das Erwachen der Intelligenz beim Kinde*. 5. Aufl. 2003, Klett-Verlag, Stuttgart.
- Piaget, J. (1974). *Abriß der genetischen Epistemologie – mit einer Einführung von Fritz Kubli und einer Bibliographie der Werke von Piaget*. 1. Aufl., Walter Verlag, Olten, Freiburg im Breisgau.

- Piaget, J. (1975). *Biologische Anpassung und Psychologie der Intelligenz*. 1. Aufl., Klett Verlag, Stuttgart.
- Piaget, J. (1976). *Die Äquibration der kognitiven Strukturen*. 1. Aufl., Klett-Verlag, Stuttgart.
- Piaget, J. (1978). *Das Weltbild des Kindes – mit einer Einführung von Hans Aebli*. 1. Aufl., Klett Verlag, Stuttgart.
- Piaget, J. (1981). *Meine Theorie der geistigen Entwicklung*. 2. Aufl. 2010, Beltz Verlag, Weinheim und Basel.
- Piaget, J. (1983). Piaget's theory. In P. Mussen (ed) *Handbook of Child Psychology*. 4<sup>th</sup> ed. Vol. 1, New York: Wiley.
- Piaget, J., Grize, J.-B., Szeminska, A. & Bang, V. (1977). *Epistemologie und Psychologie der Funktion*. 1. Aufl., Klett-Verlag, Stuttgart.
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1972). *Die Psychologie des Kindes*. 10. Aufl. 2009, Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co. KG, München.
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1973a). *Die Entwicklung der elementaren logischen Strukturen – Teil 1*. 1. Aufl., Pädagogischer Verlag Schwann Düsseldorf.
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1973b). *Die Entwicklung der elementaren logischen Strukturen – Teil 2*. 1. Aufl., Pädagogischer Verlag Schwann Düsseldorf.
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1977). *Von der Logik des Kindes zur Logik des Heranwachsenden – Essay über die Ausformung der formalen operativen Strukturen*. 1. Aufl., Walter Verlag, Olten, Freiburg im Breisgau.
- Piekny, J. & Maehler, C. (2012). Scientific reasoning in early and middle childhood: The development of domain-general evidence evaluation, experimentation, and hypothesis generation skills. *British Journal of Developmental Psychology*.
- Pillow, B. H. (2008). Development of children's understanding of cognitive activities. *The Journal of Genetic Psychology*, 169 (4), 297-321.
- Povey, R. & Hill, E. (1975). Can pre-school children form concepts? *Educational Research*, 17 (3), 180-192.
- Premack, D. & Woodruff, G. (1978). Does the chimpanzee have a theory of mind? *Behavioral and Brain Sciences*, 1, 515-526.
- Rajkumar, A. P., Yovan, S., Raveendran, A. L. & Russell, P. S. S. (2008). Can only intelligent children do mind reading: The relationship between intelligence and theory of mind in 8 to 11 year olds. *Behavioral and Brain Functions*, 4 (51), 1-7.
- Renner, G. (2006). AWST-R. Aktiver Wortschatztest fuer drei- bis fuenfjaehrige Kinder Revision-Testbesprechung. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 38 (3), 146-148.
- Roderer, T. & Roebbers, C.M. (2009). Children's strategic regulation of memory accuracy. In M. R. Kelley (Ed.), *Applied memory*, 253–274. Hauppauge, NY: Nova Science Publishers.
- Roebbers, C. M. (2002). Confidence judgments in children's and adults event recall and suggestibility. *Developmental Psychology*, 38, 1052-1067.
- Roebbers, C.M. & Schneider, W. (2005). The strategic regulation of children's memory performance and suggestibility. *Journal of Experimental Child Psychology*, 91, 24-44.
- Roebbers, C. M., von der Linden, N. & Howie, P. (2007). Favourable and unfavourable conditions for children's confidence judgments. *British Journal of Developmental Psychology*, 25, 109-134.
- Rosengren, K. S., Gelman, S. A., Kalish, C. W. & McCormick, M. (1991). As time goes by: Children's early understanding of growth. *Child Development*, 62, 1302-1320.

- Ruffman, T., Olson, D. R., Ash, T. & Keenan, T. (1993). The ABCs of deception: Do young children understand deception in the same way as adults?. *Developmental Psychology*, 29 (1), 74.
- Ruffman, T., Perner, J., Olson, D. R. & Doherty, M. (1993). Reflecting on scientific thinking: Children's understanding of the hypothesis–evidence relation. *Child Development*, 64, 1617-1636.
- Sabbagh, M. A., & Callanan, M. A. (1998). Metarepresentation in action: 3-, 4-, and 5-year olds' developing theories of mind in parent–child conversations. *Developmental Psychology*, 34 (3), 491.
- Schauble, L. (1990). Belief revision in children: The role of prior knowledge and strategies for generating evidence. *Journal of Experimental Child Psychology*, 49 (1), 31-57.
- Schauble, L. (1996). The development of scientific reasoning in knowledge-rich contexts. *Developmental Psychology*, 32, 102-119.
- Schneider, W., Perner, J., Bullock, M., Stefanek, J. & Ziegler, A. (1999). Development of intelligence and thinking. In F. E. Weinert, & W. Schneider (Eds.), *Individual development from 3 to 12 – Findings from the Munich Longitudinal Study*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Schneider, W., Visé, M., Lockl, K. & Nelson, T. O. (2000). Developmental trends in children's memory monitoring: Evidence from a judgement-of-learning task. *Cognitive Development*, 15, 115-134.
- Siegler, R. S. & Jenkins, E. (1989). *How children discover new strategies*. Hillsdale, NJ, England: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Siegler, R. S. & Liebert, R. M. (1975). Acquisition of formal scientific reasoning by 10- and 13 year-olds: Designing a factorial experiment. *Developmental Psychology*, 11 (3), 401-402.
- Simon, H. A. & Lea, G. (1974). Problem solving and rule induction: A unified view. In L. W. Gregg (Ed.), *Knowledge and Cognition*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Simon, T. & Smith, P. K. (2011). The study of play and problem solving in preschool children: Have experimenter effects been responsible for previous results?. *British Journal of Developmental Psychology*, 1 (3), 289-297.
- Smith, P. K. & Whitney, S. (1987). Play and associative fluency: Experimenter effects may be responsible for previous positive findings. *Developmental Psychology*, 23 (1), 49-53.
- Skinner, B. F. (1956). A case history in scientific method. *The American Psychologist*, 11, 221-223.
- Sodian, B. (1995). Entwicklung bereichsspezifischen Wissens. In R. Oerter & L. Montada (Hrsg.), *Entwicklungspsychologie* (3. Aufl.), 622-653. München: Psychologie Verlags Union.
- Sodian, B. (1998). Wissenschaftliches Denken. In D. H. Rost, *Handwörterbuch der Pädagogischen Psychologie*, 566-570.
- Sodian, B. (2002). Entwicklung begrifflichen Wissens. In Oerter, R. & Montada, L. (Hrsg.), *Entwicklungspsychologie*, 443-468. Weinheim: Beltz.
- Sodian, B., Bullock, M. & Koerber, S. (2008). Wissenschaftliches Denken und Argumentieren. Was muss Hänschen lernen, damit aus Hans was wird? In: W. Schneider (Hrsg.): *Entwicklung von der Kindheit bis zum Erwachsenenalter. Befunde der Münchner Längsschnittstudie LOGIK*, 67-81. Weinheim: Beltz Verlag.

- Sodian, B., Thoermer, C., Kircher, E., Grygier, P., & Günther, J. (2002). Vermittlung von Wissenschaftsverständnis in der Grundschule. *Zeitschrift für Pädagogik*, 45. Beiheft, 192-206.
- Sodian, B., Zaitchik, D. & Carey, S. (1991). Young children's differentiation of hypothetical beliefs from evidence. *Child Development*, 62, 753-766.
- Springer, K. & Keil, F. C. (1991). Early differentiation of causal mechanisms appropriate to biological and nonbiological kinds. *Child Development*, 62, 767-781.
- Stiftung "Das Haus der kleinen Forscher" (2012). *Ideen für kleine Forscher*. Online im Internet: URL: <http://www.haus-der-kleinen-forscher.de/de/forschen/praxisideen/experimente/> (letzter Abruf: 09.12.2012)
- Strand-Cary, M. & Klahr, D. (2008). Developing elementary science skills: Instructional effectiveness and path independence. *Cognitive Development*, 23, 488-511.
- Thelen, E., & Smith, L. B. (2006). Dynamic development of action and thought. *Handbook of child psychology (6th ed.)*. New York: Wiley.
- Tomasello, M. (2006). *Die kulturelle Entwicklung des menschlichen Denkens*. 1. Aufl., Suhrkamp Taschenbuch Verlag, Frankfurt am Main.
- Torres, H. N. & Zeidler, D. L. (2002). The effects of English language proficiency and scientific reasoning skills on the acquisition of science content knowledge by Hispanic English language learners and native English language speaking students. *Electronic Journal of Science Education*, 6 (3).
- Toth, E. E., Klahr, D., & Chen, Z. (2000). Bridging research and practice: A cognitively based classroom intervention for teaching experimentation skills to elementary school children. *Cognition and Instruction*, 18 (4), 423-459.
- Tschirgi, J. E. (1980). Sensible reasoning: A hypothesis about hypotheses. *Child Development*, 51, 1-10.
- Tullos, A. & Woolley, J. D. (2009). The development of children's ability to use evidence to infer reality status. *Child Development*, 80 (1), 101-114.
- Tytler, R. & Peterson, S. (2005). A longitudinal study of children's developing knowledge and reasoning in science. *Research in Science Education*, 35, 63-98.
- van der Sluis, S., de Jong, P.F. & van der Leij, A. (2007). Executive functioning in children and its relations with reasoning, reading, and arithmetic. *Intelligence*, 35, 427-449.
- Veenman, M. V. J., Wilhelm, P. & Beishuizen, J. J. (2004). The relation between intellectual and metacognitive skills from a developmental perspective. *Learning and Instruction*, 14, 89-109.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Wason, P. C. (1960). On the failure to eliminate hypotheses in a conceptual task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 12 (3), 129-140.
- Wellman, H. M. (1990). *The child's theory of mind*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Wellman, H. M., Cross, D. & Watson, J. (2001). Meta-Analysis of theory-of-mind development: The truth about false belief. *Child Development*, 72 (3), 655-684.
- Wellman, H. M. & Estes, D. (1986). Early understanding of mental entities: A reexamination of childhood realism. *Child Development*, 57, 910-923.
- Wellman, H. M. & Gelman, S. A. (1992). Cognitive development: Foundational theories of core domains. *Annual Review of Psychology*, 43, 337-375.
- Wellman, H. M. & Gelman, S. A. (1998). Knowledge acquisition in foundational domains. In D. Kuhn & R. S. Siegler (Eds.), *Handbook of child psychology (5<sup>th</sup> ed., Vol. 2)*, 523-573. New York: Wiley.

- Wellman, H.M. & Liu, D. (2004). Scaling of theory of mind tasks. *Child Development, 75* (2), 523-541.
- Williams, P. B. & Carnine, D. W. (1981). Relationship between range of examples and of instructions and attention in concept attainment. *Journal of Educational Research, 74* (3), 144-148.
- Wimmer, H. & Perner, J. (1983). Beliefs about beliefs: Representation and constraining function of wrong beliefs in young children's understanding of deception. *Cognition, 13* (1), 103-128.
- Wygotsky, L. S. (1969). *Denken und Sprechen*. 5. Aufl., Fischer Taschenbuch Verlag, Frankfurt am Main.
- Younger, B. & Mekos, D. (1992). Category construction in preschool-aged children: The use of correlated attributes. *Cognitive Development, 7*, 445-466.
- Zelazo, P. D. & Frye, D. (1998). Cognitive complexity and control: II. The development of executive function in childhood. *Current Directions in Psychological Science, 7* (4), 121-126.
- Zelazo, P.D. (2006). The dimensional change card sort (DCCS): A method of assessing executive function in children. *Nature Protocols, 1*, 297-301.
- Zimmerman, C. (2000). The development of scientific reasoning skills. *Developmental Review, 20* (1), 99-149.
- Zimmerman, C. (2005). The development of scientific reasoning skills: What psychologists contribute to an understanding of elementary science learning. *Final Draft of a Report to the National Research Council Committee on Science Learning Kindergarten through Eighth Grade*. Illinois State University. Retrieved from: [http://www7.nationalacademies.org/bose/Corinne\\_Zimmerman\\_Final\\_Paper.pdf](http://www7.nationalacademies.org/bose/Corinne_Zimmerman_Final_Paper.pdf)
- Zimmerman, C. (2007). The development of scientific thinking skills in elementary and middle school. *Developmental Review, 27*, 172-223.

# Anhang

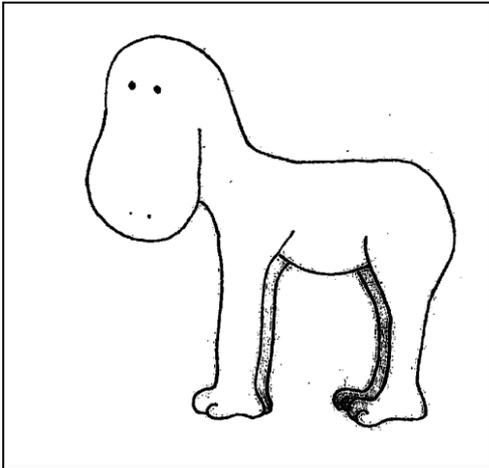
---

## Anhang A

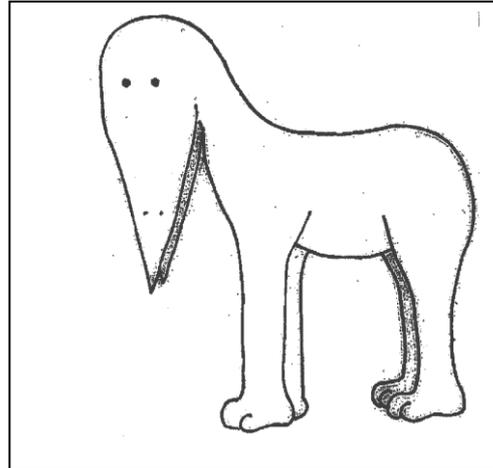
---

Practice trial: Mufis

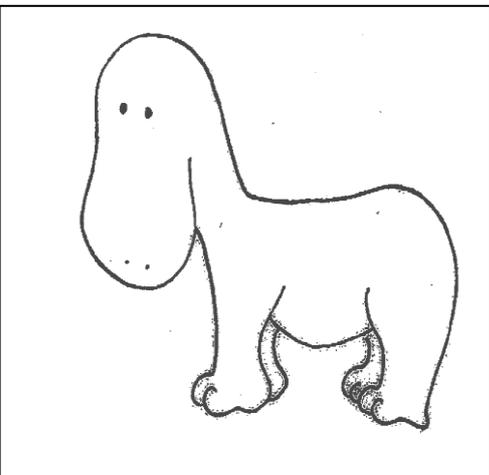
1)



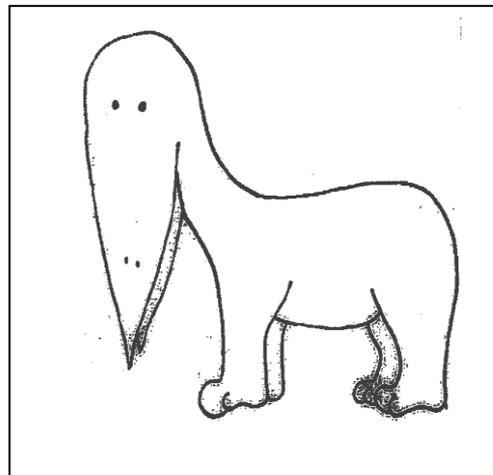
2)



3)

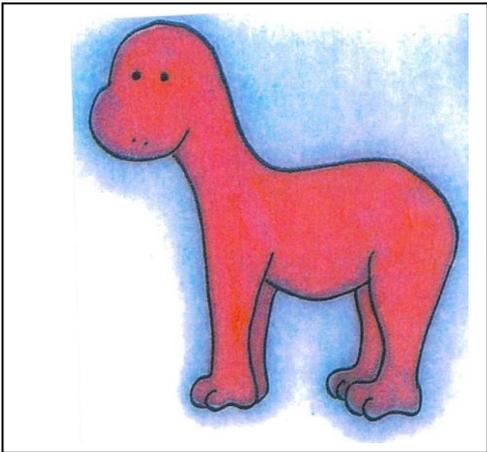


4)

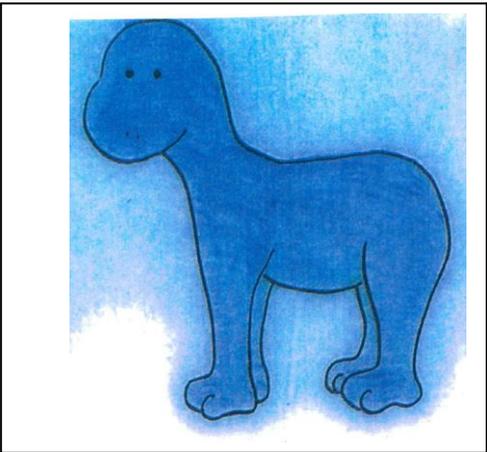


Trial 1: Talitos

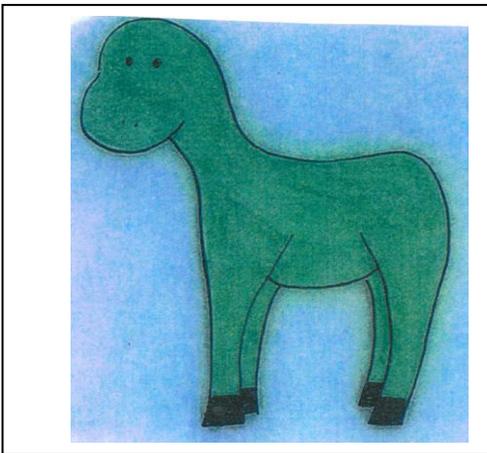
1a)



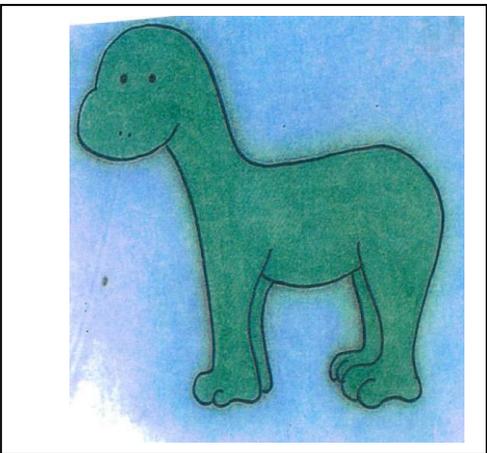
1b)



1c)

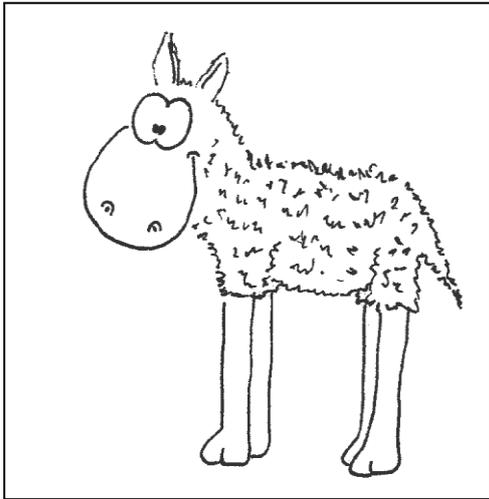


1d)

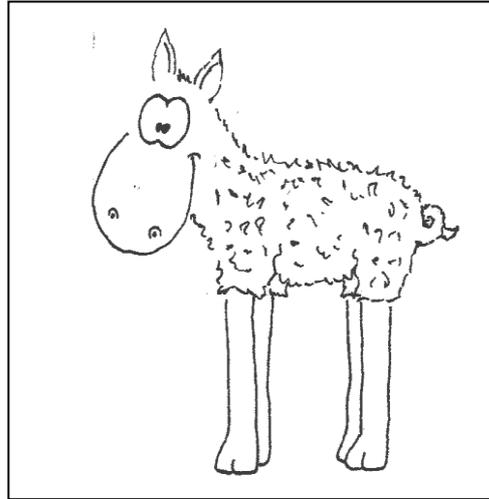


Trial 2: Wabuks

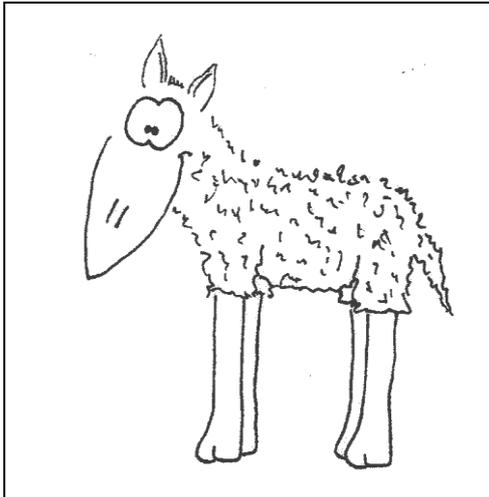
2a)



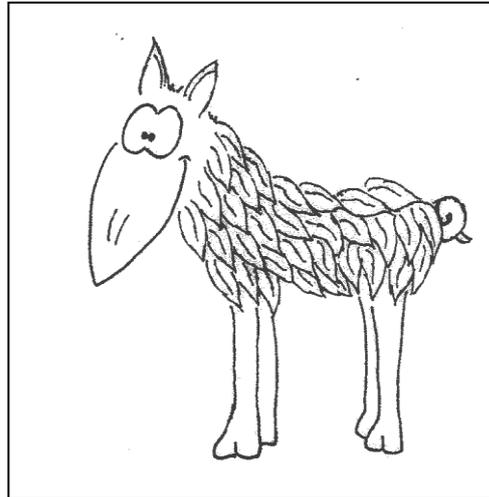
2b)



2c)

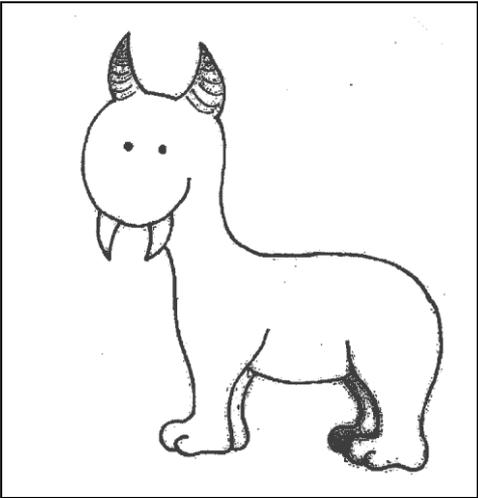


2d)

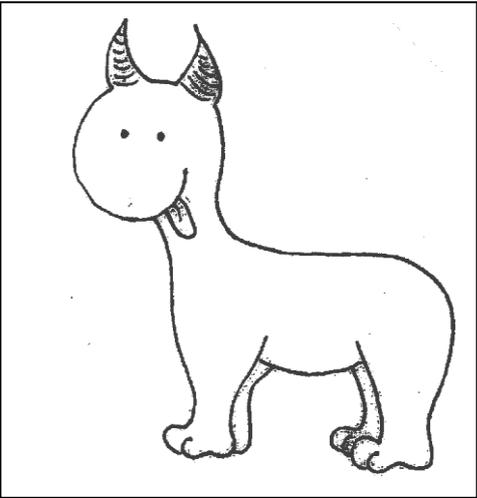


Trial 3: Kitos

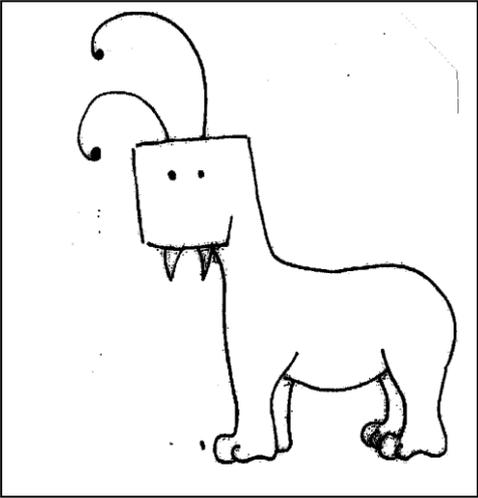
3a)



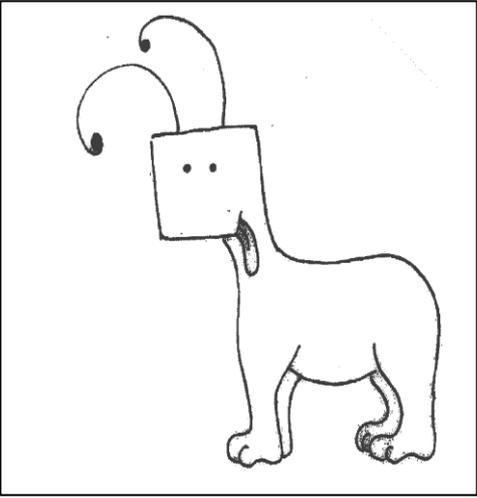
3b)



3c)

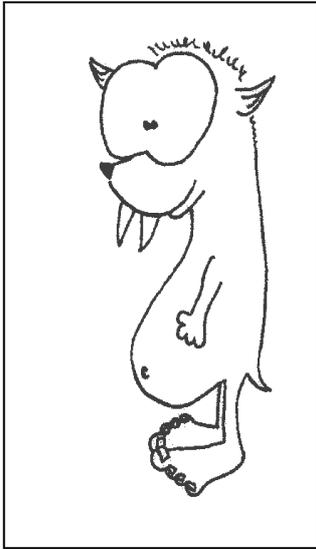


3d)

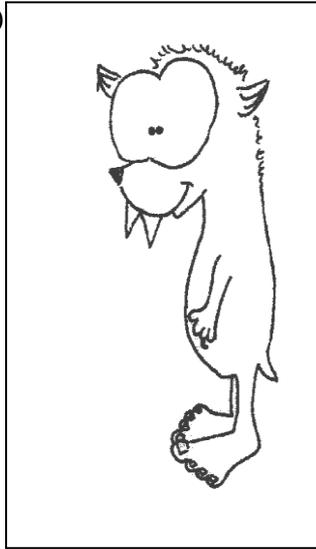


Trial 4: Mulamis

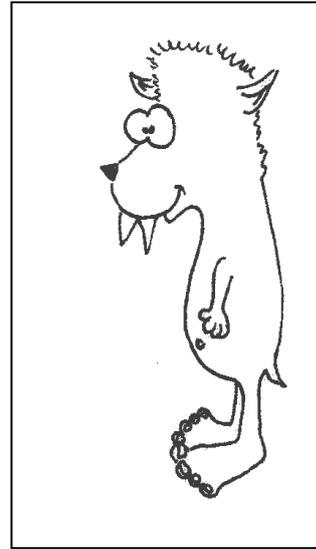
4a)



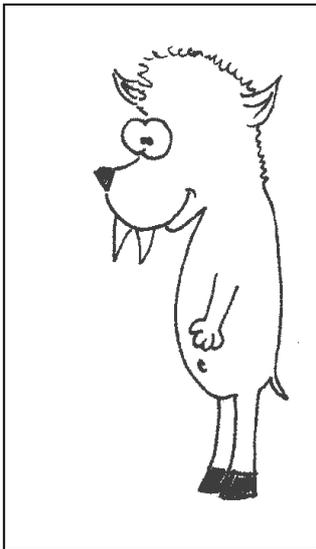
4 b)



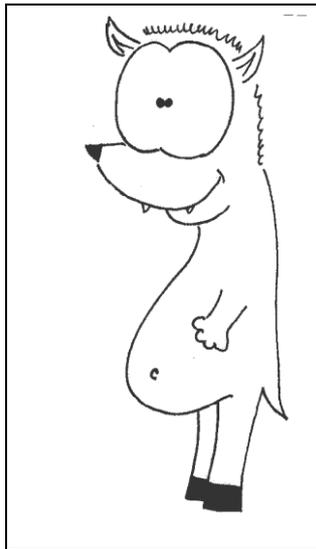
4c)



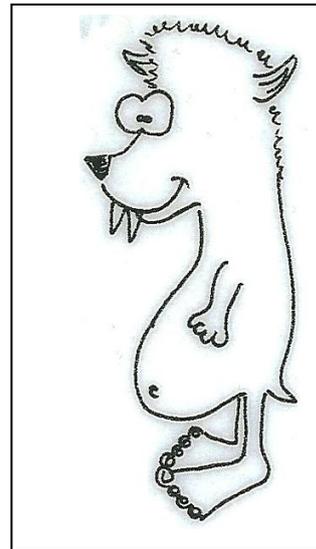
4d)



4e)

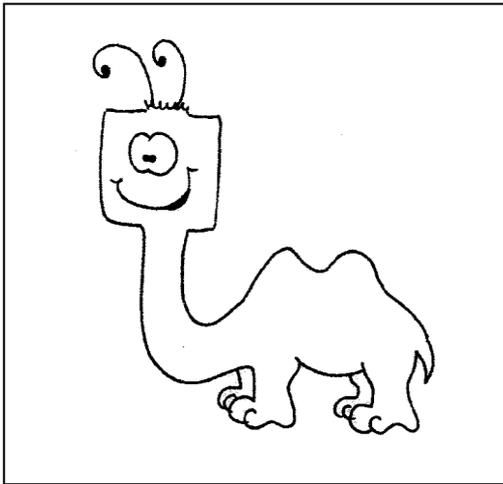


4f)

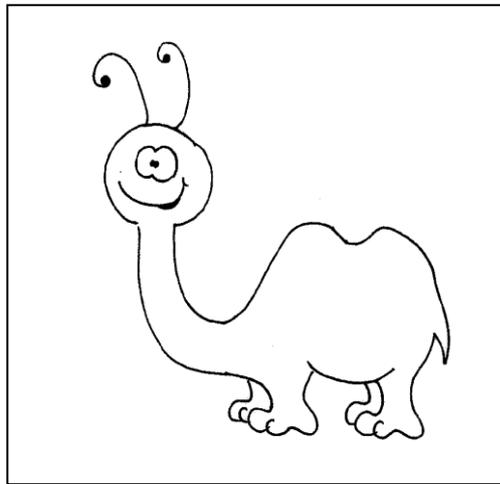


Trial 5: Nufane

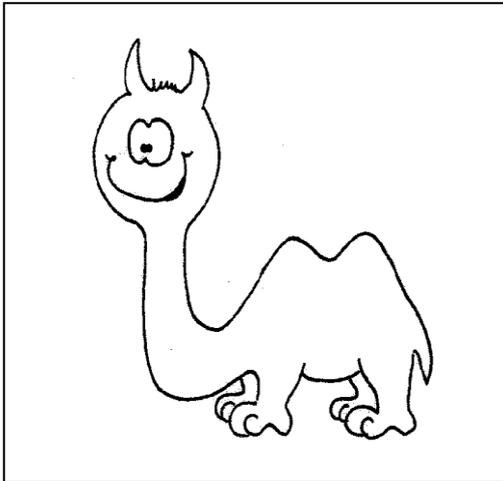
5a)



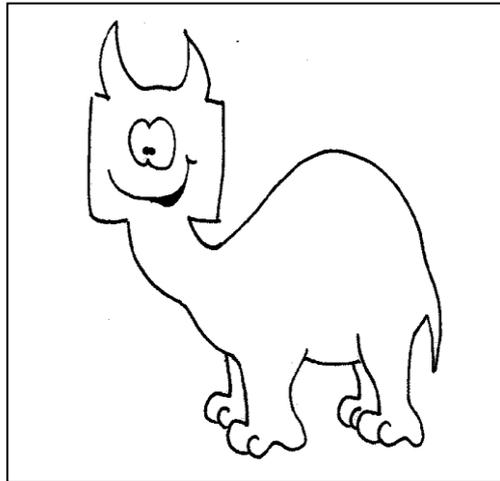
5b)



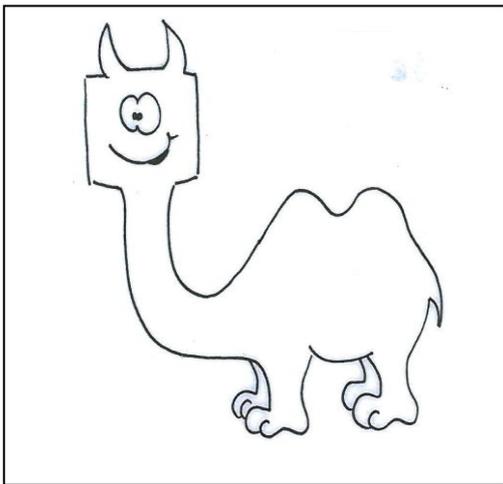
5c)



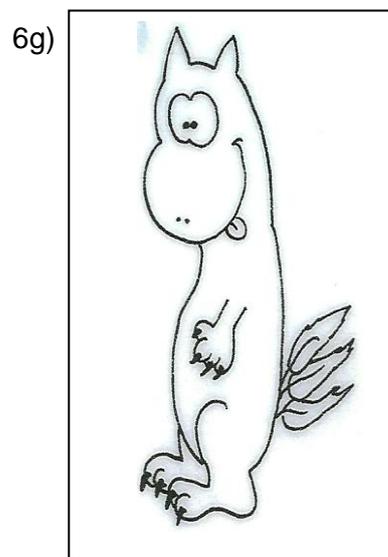
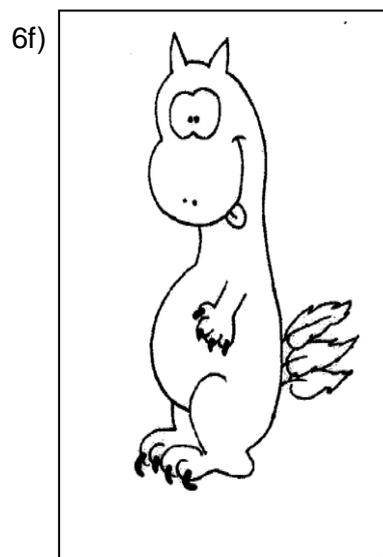
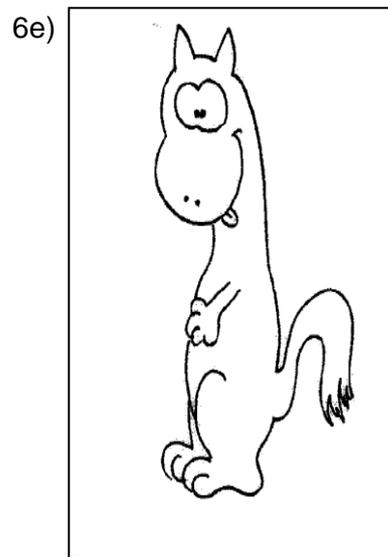
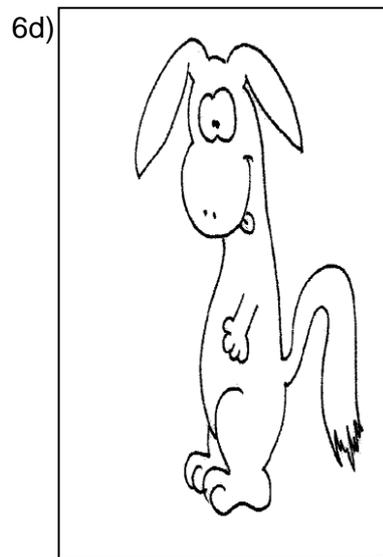
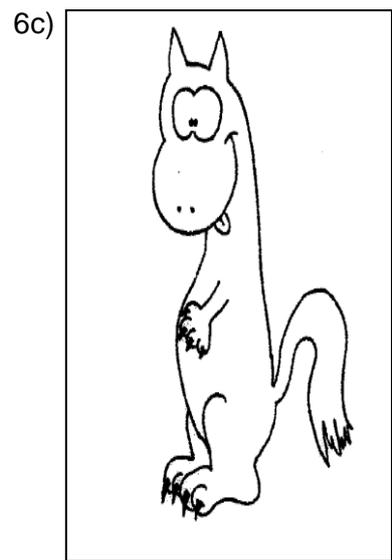
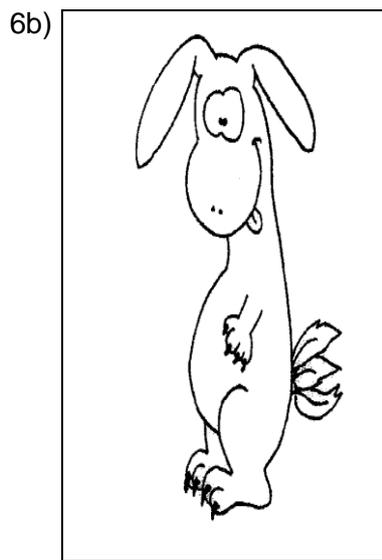
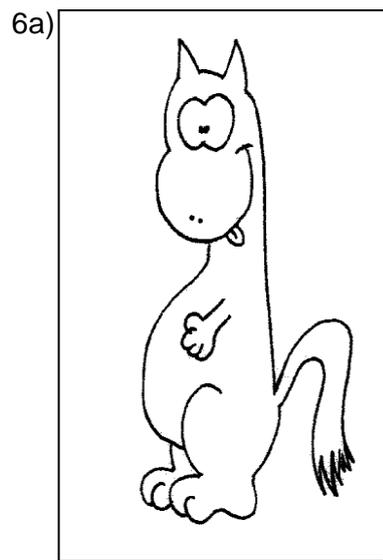
5d)



5e)



Trial 6: Hakkane



## Complete Testing Protocol of the Hypothesis-Generation Task

### Instructions and Protocol

#### Practice Trial

Correct answer(s) in **bold** letters.

“Now I want you to imagine you are an animal researcher. We are going to play a game in which you must find out what is really important in order to be a member of an animal family. All of the animals are fantasy animals. I will always tell you whether an animal belongs to a family. It is your job to find out which body part you can use to identify whether an animal belongs to the family. You must find out which body part is *really important*. We will investigate the first animal together. Let’s take a look at this animal.”

(Present practice card 1; while presenting all cards, always point at the body parts you mention)

“This animal is a Mufi. It belongs to the Mufi family. It has a *mouth* and *long legs*. Maybe Mufis can be identified by their mouth? If all Mufis have a mouth, then we know that Mufis can be identified by their mouth. Let’s take a look at the next card.”

(Present practice card 2)

“Look, this animal is a Mufi, too. But it doesn’t have a mouth—it has a beak! Hmm, there are Mufis with a mouth (point at practice card 1) and Mufis with a beak (point at practice card 2). Hmm, apparently the mouth is not really important for being a Mufi. What do you think?

Hmm, what could be really important for being a Mufi? Look, both Mufis have *long legs*. Maybe Mufis can be identified by their long legs? Let’s take a look at another animal.”

(Present practice card 3; put it down with a little gap between it and cards 1 and 2)

“Look, this animal has a *mouth and short legs*. It is *not* a Mufi. Now let’s take a look at all the animals. One Mufi has a mouth, one Mufi has a beak. But *both Mufis have long legs*. The animal with *short legs* is *not* a Mufi. Now we know that Mufis can be identified by their long legs. *Long legs* are *really important* for being a Mufi.”

(Present practice card 4)

“Look, this animal has a *beak* and *short legs*. Is it a Mufi, or is it not a Mufi? Why/Why not?”

Mufi                       **Not a Mufi**                       Other: \_\_\_\_\_

Why/Why not? \_\_\_\_\_

Trial 1: Talitos

“Now it is your job to investigate the Talitos. You must find out *which body part* is really important for identifying a Talito.

(Present card 1a)

a) This animal has *feet* and *red fur*. It is a Talito.

What do you think: Which body part is really important for being a Talito?

**feet**                       **red fur**                       Other: \_\_\_\_\_

(Present card 1b, put it directly under 1a)

b) This animal has *feet* and *blue fur*. It is a Talito, too.

What do you think: Which body part is really important for being a Talito?

**feet**                       red fur                       Other: \_\_\_\_\_

blue fur

(Present card 1c, put it down with a little gap between it and cards 1a and 1b)

c) This animal has *hooves* and *green fur*. It is *not* a Talito.

What do you think: Which body part is really important for being a Talito?

**feet**                       red fur                       Other: \_\_\_\_\_

hooves                       blue fur

green fur

(Present card 1d)

d) Look, this animal has feet and green fur. Is it a Talito, or is it not a Talito? Why/Why not?”

**Talito**                       Not a Talito                       Other: \_\_\_\_\_

Why/Why not? \_\_\_\_\_

Trial 2: Wabuks

“Alright, now it’s time for the Wabuks. You must find out *which body part is really important* for being a Wabuk.

(Present card 2a)

a) Look, this animal has *fur*, *a mouth*, and a *straight tail*. It is a Wabuk.

What do you think: Which body part is really important for being a Wabuk?

**fur**             **mouth**             **straight tail**     Other: \_\_\_\_\_

(Present card 2b)

b) This animal has *fur*, *a mouth*, and a *ring-tail*. It is a Wabuk, too.

What do you think: Which body part is really important for being a Wabuk?

**fur**             **mouth**             straight tail     Other: \_\_\_\_\_  
 ring-tail

(Present card 2c; put it down with a little gap to card 2a and 2b)

c) This animal has *fur*, *a beak*, and a *straight tail*. It is *not* a Wabuk.

What do you think: Which body part is really important for being a Wabuk?

fur             **mouth**             straight tail     Other: \_\_\_\_\_  
 beak             ring-tail

(Present card 2d)

d) Look, this animal has *feathers*, *a beak*, and a *ring-tail*. Is it a Wabuk, or is it not a Wabuk?

Why/Why not?”

Wabuk             **Not a Wabuk**             Other: \_\_\_\_\_

Why/Why not? \_\_\_\_\_

Trial 3: Kitos

“Great! Now it is time for the Kitos. This time, *two* body parts are really important for being a Kito.

You have to find out which body parts are really important for being a Kito.

(Present card 3a)

a) This animal has a *round head*, *horns*, and *long teeth*. It is a Kito.

What do you think: Which two body parts are really important for being a Kito?

**round head**    **horns**    **long teeth**    Other: \_\_\_\_\_

(Present card 3b)

b) This animal has a *round head*, *horns*, and a *long tongue*. It is a Kito, too.

What do you think: Which two body parts are really important for being a Kito?

**round head**    **horns**    long teeth    Other: \_\_\_\_\_

long tongue

(Present card 3c; put it down with a little gap between it and cards 3a and 3b)

c) This animal has a *square head*, *antennae*, and *long teeth*. It is not a Kito.

What do you think: Which two body parts are really important for being a Kito?

**round head**    **horns**    long teeth    Other: \_\_\_\_\_

square head    antennae    long tongue

(Present card 3d)

d) Look, this animal has a *square head*, *antennae*, and a *long tongue*. Is it a Kito, or is it not a Kito?

Why/Why not?"

Kito    **Not a Kito**    Other: \_\_\_\_\_

Why/Why not? \_\_\_\_\_

#### Trial 4: Mulamis

“Great! Now it’s the Mulamis’ turn. This time, only *one* body part is really important for being a Mulami. You must find out which one it is.

(Present card 4a)

a) This animal has a *saggy belly*, *feet*, *big eyes*, and *long teeth*. It is a Mulami.

What do you think: Which body part is really important for being a Mulami?

**saggy belly**    **feet**    **big eyes**    **long teeth**    Other: \_\_\_\_\_

(Present card 4b)

b) This animal has a *normal belly, feet, big eyes, and long teeth*. It is a Mulami.

What do you think: Which body part is really important for being a Mulami?

saggy belly   feet   big eyes   long teeth    Other: \_\_\_\_\_

norm. belly

(Present card 4c)

c) This animal has a *normal belly, feet, small eyes, and long teeth*. It is a Mulami, too.

What do you think: Which body part is really important for being a Mulami?

saggy belly   feet   big eyes   long teeth    Other: \_\_\_\_\_

norm. belly   sm. eyes

(Present card 4d)

d) This animal has a *normal belly, hooves, small eyes, and long teeth*. It is a Mulami, too.

What do you think: Which body part is really important for being a Mulami?

saggy belly   feet   big eyes   long teeth    Other: \_\_\_\_\_

norm. belly   hoov.   sm. eyes

(Present card 4e; put it down with a little gap between it and cards 4a, 4b, and 4c)

e) This animal has a *saggy belly, hooves, big eyes, and short teeth*. It is *not* a Mulami.

What do you think: Which body part is really important for being a Mulami?

saggy belly   feet   big eyes   long teeth    Other: \_\_\_\_\_

norm. belly   hoov.   sm. eyes   short teeth

(Present card 4f)

Look, this animal has a *saggy belly, feet, small eyes, and long teeth*. Is it a Mulami, or is it not a Mulami? Why/Why not?"

Mulami   Not a Mulami   Other: \_\_\_\_\_

Why/Why not?\_\_\_\_\_

Trial 5: Nufane

“Fantastic! Now you must investigate the Nufanes. This time, *two* body parts are really important for being a Nufane. You have to find out which two body parts are really important for being a Nufane.

(Present card 5a)

a) This animal has a *square head*, a *long neck*, *antennae*, and *two humps*. It is a Nufane.

What do you think: Which two body parts are really important for being a Nufane?

**squared h.**    **long neck**    **antennae**    **2 humps**    Other: \_\_\_\_\_

(Present card 5b)

b) This animal has a *round head*, a *long neck*, *antennae*, and *two humps*. It is a Nufane, too.

What do you think: Which two body parts are really important for being a Nufane?

squared h.    **long neck**    **antennae**    **2 humps**    Other: \_\_\_\_\_

round h.

(Present card 5c)

c) This animal has a *round head*, a *long neck*, *horns*, and *two humps*. It is a Nufane, too.

What do you think: Which two body parts are really important for being a Nufane?

square h.    **long neck**    antennae    **2 humps**    Other: \_\_\_\_\_

round h.                       horns

(Present card 5d; put it down with a little gap between it and cards 5a, 5b and 5c)

d) This animal has a *square head*, a *short neck*, *horns*, and *one hump*. It is *not* a Nufane.

What do you think: Which two body parts are really important for being a Nufane?

square h.    **long neck**    antennae    **2 humps**    Other: \_\_\_\_\_

round h.    short neck    horns    1 hump

(Present card 5e)

e) Look, this animal has a *square head*, a *long neck*, *horns*, and *two humps*. Is it a Nufane, or is it not a Nufane? Why/Why not?"

**Nufane**                       Not a Nufane                       Other: \_\_\_\_\_

Why/Why not? \_\_\_\_\_

Trial 6: Hakkane

“Now, it’s time for the Hakkanes. Two body parts are really important for being a Hakkane, and you have to find out which two body parts are important.

(Present card 6a)

a) This animal has a *thick belly*, *paws*, *spiky ears*, and a *hairy tail*. It is a Hakkane.

What do you think: Which two body parts are really important for being a Hakkane?

**thick belly**    **paws**             **spiky ears**    **hairy tail**    Other: \_\_\_\_\_

(Present card 6b; put it down with a little gap between it and card 6a)

b) This animal has a *thick belly*, *claws*, *floppy ears*, and a *tail of feathers*. It is not a Hakkane.

What do you think: Which two body parts are really important for being a Hakkane?

thick belly    **paws**             **spiky ears**    **hairy tail**    Other: \_\_\_\_\_  
 claws             floppy ears    tail of feath.

(Present card 6c; put it down under 6a)

c) This animal has a *thin belly*, *claws*, *spiky ears*, and a *hairy tail*. It is a Hakkane.

What do you think: Which two body parts are really important for being a Hakkane?

thick belly    paws             **spiky ears**    **hairy tail**    Other: \_\_\_\_\_  
 thin belly    claws             floppy ears    tail of feath.

(Present card 6d; put it down under 6b)

d) This animal has a *thin belly*, *paws*, *floppy ears*, and a *hairy tail*. It is *not* a Hakkane.

What do you think: Which two body parts are really important for being a Hakkane?

thick belly    paws             **spiky ears**    **hairy tail**    Other: \_\_\_\_\_  
 thin belly    claws             floppy ears    tail of feath.

(Present card 6e, put it down under 6a and 6c)

e) This animal has a *thin belly*, *paws*, *spiky ears*, and a *hairy tail*. It is a Hakkane.

What do you think: Which two body parts are really important for being a Hakkane?

thick belly    paws             **spiky ears**    **hairy tail**    Other: \_\_\_\_\_  
 thin belly    claws             floppy ears    tail of feath.

(Present card 6f; put it down under 6b and 6d)

f) This animal has a *thick belly, claws, spiky ears, and a tail of feathers*. It is not a Hakkane.

What do you think: Which two body parts are really important for being a Hakkane?

(Present card 6g)

thick belly     paws             **spiky ears**     **hairy tail**     Other: \_\_\_\_\_

thin belly     claws             floppy ears     tail of feath.

g) Look, this animal has a *thin belly, claws, spiky ears, and a tail of feathers*. Is it a Hakkane, or is it not a Hakkane? Why/Why not?"

Hakkane             **Not a Hakkane**             Other: \_\_\_\_\_

Why/Why not? \_\_\_\_\_

## Danksagungen

---

Eine wissenschaftliche Arbeit unter Verwendung wissenschaftlicher Methoden über die Entwicklung des Verständnisses wissenschaftlicher Methoden zu schreiben stellte für mich eine große Herausforderung dar, bei der ich über mein eigenes Wissenschaftsverständnis ebenso viel gelernt habe wie über jenes von Kindern und Jugendlichen. Umso größer ist mein Anliegen, mich herzlich bei allen Menschen zu bedanken, die direkt oder indirekt zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Zunächst danke ich den insgesamt 438 Kindern in und um Hildesheim und Düsseldorf, die mit Freude *Wissenschaftler* und *KOKO* gespielt haben, und ihren Eltern, Erzieherinnen und Erzieher sowie Lehrerinnen und Lehrer für ihre Unterstützung der Untersuchungen.

Ganz besonders danke ich Claudia Mähler, die mir die Chance gegeben hat, ein so umfangreiches Forschungsprojekt wie *KOKO* direkt nach dem Studium mitgestalten und organisieren zu dürfen, und mir bei der Durchführung meiner eigenen Studie eine große Hilfe war. Sie war mir mit ihrem fachlichen Wissen und emotionaler Unterstützung jederzeit eine sehr gute Betreuerin. Außerdem danke ich sehr herzlich Dietmar Grube für seinen fachlichen Rat, insbesondere in methodischen Fragen, und Werner Greve für seine bereitwillige und freudige Übernahme der Zweitbegutachtung.

Allen Kolleginnen und Kollegen in Hildesheim danke ich dafür, dass sie dadurch, dass sie sind wie sie sind, ein einmalig angenehmes und produktives Arbeitsklima schaffen, in dem Menschen und Ideen in ihrer Unterschiedlichkeit wertgeschätzt werden. Besonders Ariane von Goldammer und Kirsten Schuchardt danke ich dafür, dass sie mich von meinen sonstigen Aufgaben in den „Schreibphasen“ dieser Arbeit entlastet haben.

Meinen Freunden, insbesondere Sina Schmidt, danke ich für das Korrekturlesen und dafür, dass sie mich abgelenkt haben, wenn ich es brauchte, und mir halfen, wenn ich darum bat.

Meinem Freund Christoph, meinen Eltern und meiner Schwester Monique danke ich für all ihre Unterstützung, ihr Vertrauen in meine Fähigkeit zu promovieren und einfach dafür, dass sie da waren und da sind.

Hannover, den 17.12.2012

Jeanette Piekny