
Inauguraldissertation
zur Erlangung des akademischen Doktorgrades (Dr. phil.)
im Fach Psychologie
an der Fakultät für Verhaltens- und Empirische Kulturwissenschaften
der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg

Titel der Dissertation

Werkzeuggebrauch und Wissenstransfer im Kleinkindalter:
Wie entwickelt sich flexible Anpassungsfähigkeit und welche Rolle spielen die
Exekutiven Funktionen?

vorgelegt von
Dipl.-Psych. Sabrina Bechtel
geboren am 14.06.1986 in Weinheim

Jahr der Einreichung
2014

Dekan: Prof. Dr. Klaus Fiedler
Beraterin: Prof. Dr. Sabina Pauen

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei den vielen wichtigen Personen bedanken, die mich während der letzten Jahre begleitet und unterstützt haben und somit bedeutend zur vorliegenden Arbeit beigetragen haben.

Mein größter Dank gilt meiner Betreuerin Frau Prof. Dr. Sabina Pauen, die mein Interesse an der Entwicklungspsychologie seit der ersten Vorlesungssitzung entflammt und meine Aufmerksamkeit auf das Thema Werkzeuggebrauch und Wissenstransfer gelenkt hat. Danke für die vielen guten Anregungen, dafür dass du mir immer unterstützend zur Seite stehst und stets ein offenes Ohr hast, egal in welcher Angelegenheit!

Außerdem möchte ich mich bei Prof. Dr. Birgit Träuble für die Bereitschaft bedanken, meine Arbeit zu begutachten. Danke auch, dass ich bei Fragen immer auf dich zukommen konnte und du dir immer für einen kurzen Austausch Zeit genommen hast.

Danke an Elisabetta Visalberghi und ihr Forscherteam in Rom für die interessanten Einblicke in die Forschung mit nicht-menschlichen Primaten, die mich seither nicht mehr loslässt.

Auch bei allen wissenschaftlichen Hilfskräften und Praktikanten, die mir bei der Erhebung und Kodierung der Daten geholfen haben, möchte ich mich bedanken.

Ein herzlicher Dank gilt Christiane Fauth-Scheurich für den Einsatz beim Einbestellen der Versuchspersonen, die organisatorische Hilfe, das Mitfiebern bei einzelnen Etappen der Doktorandenzeit und das Teilen vieler schöner Momente.

Danke an alle meine Kollegen und Freunde für die wundervolle Zeit mit euch! Danke für den regen inhaltlichen Austausch, euer Zuhören und Mitdenken und natürlich den vielen Spaß, den wir zusammen auch außerhalb des Instituts hatten und haben. Mit euch freut man sich jeden Tag auf die Arbeit.

Natürlich danke ich auch den vielen Eltern, die sich die Zeit genommen haben mit ihren Kindern ins Psychologische Institut der Universität Heidelberg zu kommen und den Kindern, die bei meinen Studien mitgemacht und mir immer wieder gezeigt haben, welchen Stab sie für den richtigen hielten.

Mein besonderer Dank gilt meinen Eltern Elsbeth und Volker Bechtel, die mich immer in all meinem Tun unterstützen und für mich da sind. Danke für euer Interesse und die schöne Zeit mit euch, die mir immer wieder Kraft gibt und mich motiviert. Und natürlich vielen Dank für die Hilfe beim Basteln der Versuchsmaterialien. Das gilt natürlich auch für Ulrich Dietrich.

Schließlich möchte ich mich bei meinem Freund Alexander Kühne bedanken. Vielen Dank für die inhaltlichen Diskussionen, das Zuhören, interessierte Nachfragen und natürlich das Korrekturlesen. Vor allem aber für die emotionale Unterstützung und Motivation. Es ist schön zu wissen, dass du immer für mich da bist und an mich glaubst.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	6
1. Einleitung.....	7
2. Werkzeuggebrauch und Wissenstransfer.....	12
2.1. Definition Werkzeuggebrauch.....	12
2.2. Ontogenetische Entwicklung des Werkzeuggebrauchs.....	17
2.3. Funktionswissen.....	32
2.4. Kausalwissen.....	43
2.5. Teleologisches Verständnis und Flexibilität.....	58
2.6. Funktionaler Wissenstransfer.....	64
3. Exekutive Funktionen.....	78
3.1. Definition und Theoretische Ansätze Exekutiver Funktionen.....	78
3.2. Erfassung und Entwicklung der Komponenten Exekutiver Funktionen.....	90
3.3. Exekutive Funktionen, Werkzeuggebrauch und Wissenstransfer.....	107
4. Aneignung von Werkzeugwissen und Wissenstransfer mit 24 Monaten (Studie 1).....	108
4.1. Methode.....	110
4.2. Ergebnisse.....	117
4.3. Diskussion.....	123
5. Entwicklung der Lern-, Transfer- und Anpassungsfähigkeit im zweiten Lebensjahr (Studie 2)	129
5.1. Methode.....	129
5.2. Ergebnisse.....	133
5.3. Diskussion.....	143
6. Welche Rolle spielen die Exekutiven Funktionen beim Wissenstransfer und flexiblen Umgang mit Rückmeldung? (Studie 3).....	151
6.1. Methode.....	151
6.2. Ergebnisse.....	160
6.3. Diskussion.....	165

7. Gesamtdiskussion und Ausblick	170
7.1. Inter-Spezies-Vergleich: Menschliche Kleinkinder (Homo sapiens), Schimpansen (Pan troglodytes) und gehaubte Kapuzineraffen (Sapajus apella)	173
7.2. Lernen durch Versuch und Irrtum vs. rationales Denken	175
7.3. Eigene motorische Erfahrung und Beobachtungslernen	177
7.4. Soziales Lernen	178
7.5. Grenzen der Studienreihe und Ausblick	179
Literatur	182
Tabellenverzeichnis	216
Abbildungsverzeichnis	217
Erklärung gemäß § 8 Abs. 1 Buchst. b) der Promotionsordnung der Universität Heidelberg für die Fakultät für Verhaltens- und Empirische Kulturwissenschaften	218

Zusammenfassung

Der flexible und allgegenwärtige Einsatz unterschiedlichster Werkzeuge zum Lösen von Problemen zeichnet uns Menschen aus. In den ersten Lebensjahren begegnen Kinder tagtäglich neuen Objekten und lernen etwas über deren Eigenschaften, die sie zu nützlichen oder weniger nützlichen Werkzeugen zum Erreichen eines bestimmten Ziels machen. Die vorliegende Arbeit untersuchte die Entwicklung der Aneignung von Werkzeugwissen und die flexible Transfer- und Anpassungsfähigkeit an Rückmeldung im zweiten Lebensjahr.

In Studie 1 gelang es der Mehrheit 24 Monate alter Kinder, neben salienten lösungsirrelevanten Eigenschaften auch funktionale Objektinformation zu enkodieren. Der spontane Transfer dieser funktionalen Merkmale auf eine ähnliche Situation fiel ihnen zwar schwer, wenn sich saliente irrelevante und funktional relevante Informationen widersprachen. Rückmeldungen konnten jedoch genutzt und das Verhalten flexibel angepasst werden. Informationen zur kausalen Wirkung eines Werkzeuges beeinflussten die Lern- und Transferleistung darüber hinaus leicht positiv, so dass weniger Fehler beim spontanen Wissenstransfer zu verzeichnen waren, wenn kausale Informationen über den Wirkmechanismus vorhanden waren. Auch schien es, als würden einige Kinder nach dem Auffinden des korrekten Werkzeuges nach zusätzlichen potentiellen Alternativen suchen.

Studie 2 zeigte deutliche Altersunterschiede hinsichtlich der Lern-, Transfer- und Anpassungsfähigkeit: Während 18 und 20 Monate alte Kinder trotz sozialer Werkzeugdemonstration nicht in der Lage waren, ein funktionales Werkzeug konsistent auszuwählen, gelang dies der Mehrheit 22 und 24 Monate alter Kinder. Allerdings zeigten sich auch zwischen 22 und 24 Monaten deutliche Unterschiede hinsichtlich der spontanen Transfer- und Anpassungsfähigkeit. 24 Monate alte Kinder zeigten eine geringere Fehlerrate und Ablenkbarkeit durch irrelevante saliente Werkzeugmerkmale als 22 Monate alte Kinder. Darüber hinaus passten sie ihr Verhalten bei Fehlern deutlich schneller an.

In Studie 3 zeigten sich erste Hinweise auf Zusammenhänge zwischen Komponenten Exekutiver Funktionen, d.h. Prozessen der zielgerichteten, flexiblen Verhaltenskontrolle und -modifikation, und spontanem Wissenstransfer, sowie der flexiblen Anpassung an Rückmeldung im Alter von 22 Monaten.

Die Studienergebnisse werden vor dem Hintergrund bestehender Befunde und theoretischer Überlegungen diskutiert. Darüber hinaus erfolgt ein Vergleich mit Studien aus der nicht-menschlichen Primatenforschung, die die gleiche Aufgabe nutzten. Abschließend werden Ausblicke auf weitere Forschungsarbeiten gegeben.

1. Einleitung

“Man is a Tool-using Animal (Handthierendes Thier). Weak in himself, and of small stature [...]. Nevertheless he can use Tools, can devise Tools: with these the granite mountain melts into light dust before him; he kneads glowing iron, as if it were soft paste; seas are his smooth highway, winds and fire his unwearrying steeds. Nowhere do you find him without Tools: without Tools he is nothing, with Tools he is all.”

-- Thomas Carlyle (1838, S. 39f)

Lange Zeit schien der Gebrauch von Werkzeugen den Menschen gegenüber anderen Arten auszuzeichnen, ihn einzigartig zu machen. Zwar gibt es auch heute noch Bemühungen, die Besonderheiten menschlichen Werkzeuggebrauchs im Vergleich zu anderen Tierarten aufzuzeigen (siehe Vaesen, 2012), unser Bild vom Menschen als „Tool-using Animal“ hat sich allerdings deutlich gewandelt. Anfang des 20. Jahrhunderts kamen Zweifel bezüglich der Einzigartigkeit menschlichen Werkzeuggebrauchs auf, als der Gestaltpsychologe Wolfgang Köhler Studien zum Problemlösen bei Schimpansen veröffentlichte (Köhler, 1921).

Köhler leitete zu dieser Zeit eine Menschenaffenstation (Anthropoidenstation) der Preußischen Akademie der Wissenschaften in Teneriffa und hatte mehrere Experimente zur „Intelligenzprüfung bei Menschenaffen“ durchgeführt. Er verwendete hierfür Problemlöseaufgaben, bei denen sich zumeist eine Belohnung außer Reichweite befand. Nur unter Zuhilfenahme von sich in der Nähe befindenden Objekten konnte die Belohnung erreicht werden. So legte er beispielsweise Futter außer Reichweite der Tiere vor den Käfig. Im Käfig platzierte er Stöcke, mit deren Hilfe das Fressen in Reichweite geholt werden konnte. Beim wohl berühmtesten Versuch befestigte er eine Banane außer Reichweite am Gitterdach des Käfigs. Um an die Belohnung zu gelangen, konnten Kisten genutzt werden, die weiter entfernt im Käfig standen. Die Schimpansen stapelten diese, kletterten auf die Kisten und konnten so die Belohnung erreichen. Sie schienen also Objekte als Werkzeug einzusetzen, um ein Ziel zu erreichen, das sie ohne dieses Hilfsmittel nicht hätten erreichen können und erweiterten somit ihren Handlungsspielraum.

Köhler berichtete außerdem, dass die Schimpansen nicht mittels Versuch und Irrtum zum erfolgreichen Einsatz der Hilfsmittel gelangt seien. Vielmehr hätten die Tiere den Anschein erweckt, zu überlegen, bevor sie die Kisten dann direkt unter die Belohnung schoben. Köhler schlussfolgerte, dass die Tiere in vielen Fällen Einsicht zeigten und ihr Verhalten nicht allein durch die operante Verstärkung zufälligen Verhaltens zu erklären sei (Köhler, 1921).

Die Studien wurden zunächst weitestgehend ignoriert. Sie passten nicht zum vorherrschenden Tier- und Menschenbild des Behaviorismus (Dewsbury, 2013; Watson, 1913). Erst mit der „kognitiven Wende“ der Psychologie in den 1950er-Jahren und maßgeblich auch durch die Arbeiten von Jane Goodall in den 1960er- und '70er-Jahren fanden die Studien Köhlers ernsthafte Beachtung.

Goodall hatte Werkzeuggebrauch bei Schimpansen in freier Wildbahn beobachten und dokumentieren können (Goodall, 1964; van Lawick-Goodall, 1968). Es handelte sich hierbei um die erste Publikation über Werkzeuggebrauch von Menschenaffen in freier Wildbahn in einer Fachzeitschrift. Im Gombe-Stream-Nationalpark in Tansania hatte Jane Goodall Schimpansen unter anderem dabei beobachtet, wie sie schmale Äste von Laub befreiten und diese anschließend in einen Termitenhügel steckten, um damit Termiten zu angeln. Die Annahme, Werkzeuggebrauch sei Alleinstellungsmerkmal des Menschen wurde in Frage gestellt.

Die Reaktion des Paläoanthropologen Louis Leakey auf Jane Goodalls Telegramm, in dem sie ihm ihre Beobachtungen mitteilte, sagt viel über die Bedeutung dieser Entdeckung und ihre Auswirkungen aus: „Now we must redefine ‚tool‘, redefine ‚Man‘, or accept chimpanzees as humans“.

Die Erforschung des Werkzeuggebrauches im Tierreich nahm im Folgenden deutlich zu. Mittlerweile wurden viele weitere Hinweise auf Werkzeuggebrauch bei den unterschiedlichsten Tierarten gefunden; nicht nur andere Menschenaffenarten (Schimpansen (*Pan troglodytes*): Boesch & Boesch, 1990; Gorillas (*Gorilla gorilla*) und Orang Utans (*Pongo abelii*): Mulcahy, Call, & Dunbar, 2005), sondern auch weiter von uns Menschen entfernte Affenarten (z.B. Kapuzineraffen (*Sapajus apella*): Ottoni & Izar, 2008; Visalberghi & Trinca, 1989; Westergaard & Fragaszy, 1987), Säugetiere (z.B. Tümmler (*Tursiops* sp.): Mann et al., 2008) und Vögel (z.B. Saatkrähe (*Corvus frugilegus*): Bird & Emery, 2009) scheinen Werkzeuge zu gebrauchen. Besonders eindrucksvoll ist der flexible und innovative Werkzeuggebrauch von Geradschnabelkrähen (auch „Neukaledonische Krähe“ (*Corvus moneduloides*): Bluff, Weir, Rutz, Wimpenny, & Kacelnik, 2007; Weir & Kacelnik, 2006). Wie vielen Arten flexibler Werkzeuggebrauch zugeschrieben wird, hängt maßgeblich von dessen Definition ab (siehe Kapitel 2.1., S. 12).

Doch auch wenn viele andere Arten ebenfalls beeindruckend kompetente Werkzeugnutzer zu sein scheinen, nutzt wohl keine Spezies Werkzeuge in solch großem Ausmaß und in so vielen verschiedenen Situationen wie der Mensch (Gredlein & Bjorklund, 2005; Sanz, Call, & Boesch, 2013). Wir Menschen geben unser Wissen über Werkzeuge auch an andere weiter. Dies erfolgt innerhalb einer Generation (in der Peer-Gruppe; siehe Arbeiten zu „Diffusion Chains“: z.B. Flynn & Whiten, 2010; Hopper, Flynn, Wood, & Whiten, 2010), aber auch über Generationen

hinweg (Tomasello, 2010). Bei der transgenerationalen Weitergabe werden Lehrsituationen erzeugt, die ihrem Gegenüber das Erlernen relevanter Informationen erleichtern (Csibra & Gergely, 2011; Lockman, 2000). Bislang konnten solche Lehrkontexte und -verhaltensweisen bei noch keiner anderen Spezies beobachtet werden.

Nachdem also lange Zeit der Werkzeuggebrauch per se als spezifisch menschlich galt, wird nun vielmehr nach den verbleibenden Besonderheiten menschlichen Werkzeuggebrauchs im Vergleich zu anderen Arten gesucht. Ziel sollte hierbei jedoch nicht das Konstatieren eines menschlichen Sonderstatus sein, sondern vielmehr die genauere Erforschung der Unterschiede, wie auch Gemeinsamkeiten zwischen den Arten.

Um diesen Fragen nachzugehen, ist es wichtig, sich die Entwicklung menschlichen Werkzeuggebrauchs von allen Seiten anzusehen. Der phylogenetische Vergleich sollte daher unbedingt durch eine ontogenetische Herangehensweise ergänzt werden. Wie entwickelt sich die Fähigkeit, flexibel Werkzeuge zu nutzen, Wissen zu transferieren und flexibel in unterschiedlichsten Situationen anzuwenden innerhalb eines Menschenlebens? Welche kognitiven Prozesse und Voraussetzungen sind notwendig?

Bislang wurde der ontogenetischen Entwicklung des Werkzeuggebrauchs vergleichsweise wenig Forschungsraum in der Entwicklungspsychologie eingeräumt (Keen, 2011). Im Fokus bisheriger Arbeiten stehen vor allem die Handlungsausführung, der tatsächliche Gebrauch von Werkzeugen (Brown, 1990; Chen & Siegler, 2000; Connolly & Dalgleish, 1989; Kahrs, Jung, & Lockman, 2013a, 2013b; McCarty, Clifton, & Collard, 2001; Rat-Fischer, O'Regan, & Fagard, 2012). Die kognitiven Schritte, die einer Werkzeugwahl vorausgehen können und für flexiblen Wissenstransfer relevant sind, wurden hingegen eher vernachlässigt. Auch wurde der Werkzeuggebrauch im Kleinkindalter bislang selten mikrogenetisch analysiert (siehe Kapitel 2.6.5., S. 72). Eine solche Analyse kann jedoch sehr aufschlussreich im Hinblick auf Lernprozesse in Werkzeuggebrauchssituationen sein (Chen & Siegler, 2000; Siegler, 1996, 2000).

Die vorliegende Arbeit setzte genau hier an und untersuchte kognitive Basisprozesse, die für die Auswahl eines funktionalen Werkzeugs relevant sein könnten. Ziel war es, hinderliche und förderliche Faktoren für die funktionale Werkzeugwahl im Kindesalter genauer zu beleuchten. Das Verhalten der Kinder wurde mikrogenetisch analysiert, so dass Reaktionen auf Rückmeldungen (Erfolg vs. Misserfolg der eigenen Handlung) genauer hinsichtlich ihrer Flexibilität untersucht werden konnten.

Bevor die Studienreihe beschrieben und diskutiert wird, soll ein umfassender Überblick über relevante Themen gegeben werden. Der Theorieteil gliedert sich in zwei große Bereiche:

„Werkzeuggebrauch und Wissenstransfer“ (Kapitel 2.) und „Exekutive Funktionen“ (Kapitel 3.), die in Kapitel 3.3. zusammengeführt werden.

Zu Beginn wird herausgestellt, was in der vorliegenden Arbeit unter Werkzeuggebrauch verstanden wird (2.1. Definition von Werkzeuggebrauch) und wie sich die Entwicklung des Nutzens von Hilfsmitteln in der frühen Kindheit und im Kleinkindalter entwickelt (2.2. Ontogenetische Entwicklung des Werkzeuggebrauchs). In den ersten Lebensjahren begegnen wir täglich neuen Objekten. Diese werden zunächst exploriert (2.2.1. und 2.2.2.), ehe sie zielgerichtet genutzt und somit als Hilfsmittel eingesetzt werden können (2.2.3. Mittel-Ziel-Verhalten).

Funktionale Objekteigenschaften sind besonders wichtig für die effiziente Wahl eines Hilfsmittels (2.3. Funktionswissen). Um genauer verstehen zu können, wie sich die Verarbeitung und Nutzung funktionaler Objektinformationen in den ersten Lebensjahren entwickelt und auf den Werkzeuggebrauch und Wissenstransfer einwirkt, ist es notwendig, einen Blick auf die frühkindliche Konzeptbildung zu werfen (2.3.1.). Die Erfahrungen, die Säuglinge und Kleinkinder mit Objekten sammeln, werden als Konzepte repräsentiert und für folgende Handlungen genutzt. Im Hinblick auf den Werkzeuggebrauch interessiert insbesondere, inwiefern bereits im frühen Kindesalter funktionale Informationen in das Konzeptgefüge integriert werden können. Hierüber besteht noch kein Konsens. Die Debatte über perzeptuelle oder funktional basierte Kategorisierungsprozesse von Objekten veranschaulicht dies und zeigt darüber hinaus auf, dass häufig nur künstlich zwischen dem Aussehen und der Funktion eines Objektes getrennt werden kann. Im Alltag erfahren wir immer wieder Zusammenhänge zwischen beiden Attributen (2.3.2.).

Die Wahrnehmung einer Kausalrelation, einem Zusammenhang zwischen der Objektbeschaffenheit und seiner Wirkung, scheint die Funktionalität eines Objektes besonders hervorzuheben. Auch für den Transfer einer Problemlösung auf neue Situationen scheint es förderlich zu sein, zu verstehen, welche Aspekte kausal wirksam sind und somit den erwünschten Effekt erzielen. Aus diesem Grund wird in Kapitel 2.4. die Entwicklung des Kausalwissens im Säuglings- und Kleinkindalter, von der Wahrnehmung einfacher Kausalereignisse (2.4.1.) bis hin zum Verständnis kausaler Relationen im Kleinkindalter (2.4.3.) diskutiert.

Ein ebenfalls relevantes Kausalkonzept für das Erlernen des Gebrauchs von Hilfsmitteln ist die Wahrnehmung von Urheberschaft (2.5.1.). Sie wirkt sich auf das Verständnis zielgerichteter Handlungen und Intentionen aus. Soziales Lernen nimmt bei der menschlichen Entwicklung des Werkzeuggebrauchs eine besondere Rolle ein. Kinder lernen durch Beobachtung und werden pädagogisch angeleitet, Objekte zielgerichtet zu nutzen (2.5.2. Soziales Lernen von Objektfunktionen). Die Grundlage hierfür bildet das Intentionsverständnis, ohne

welches wir nicht in der Lage wären, die pädagogischen Demonstrationen und Anleitungen anderer Personen derart effizient zu nutzen. Dass diese intentionale Interpretation jedoch auch Nachteile mit sich bringt, zeigt das für den Wissenstransfer relevante Phänomen der Funktionalen Gebundenheit (2.5.3.). Objekten wird bereits nach einmaliger Demonstration eine Funktion zugeschrieben, die die flexible anderweitige Nutzung einschränken kann.

Das flexible Nutzen von Funktionswissen führt schließlich zu Kapitel 2.6., in welchem der funktionale Wissenstransfer und das Nutzen von Analogien genauer beleuchtet wird. Hierzu werden theoretische Ansätze beschrieben (2.6.1. Structure-Mapping, 2.6.4. Relational Shift, Relational Primacy und Informationsvalidität), sowie Erfassungsmöglichkeiten der Nutzung von Analogien (2.6.2. und 2.6.3.) und der flexiblen Anpassung in Problemlösesituationen (2.6.5.) dargestellt. Auch wird bereits deutlich werden, inwiefern sich ein Blick auf das Konstrukt „Exekutive Funktionen“ lohnen könnte, um die Entwicklung funktionalen Wissenstransfers und die Prozesse flexibler Anpassungsfähigkeit im Kleinkindalter besser verstehen zu können (2.6.6. Aufgabenkomplexität und Verarbeitungskapazität).

In Kapitel 3. wird anschließend ausführlich erläutert, welche Prozesse zu den Exekutiven Funktionen gezählt werden (3.1.1.). Darüber hinaus werden prominente Theorien (3.1.2.-3.1.4.), sowie Erfassungsmöglichkeiten und Entwicklungsschritte (3.2.) skizziert.

Kapitel 3.3. verknüpft die Themenbereiche miteinander, ehe in Kapitel 4.-7. die vorliegende Studienreihe dargelegt und umfassend diskutiert wird.

2. Werkzeuggebrauch und Wissenstransfer

2.1. Definition Werkzeuggebrauch

Bevor die Entwicklung menschlichen Werkzeuggebrauchs näher untersucht werden kann, ist es unumgänglich, exakt festzulegen, was unter einem Werkzeug und unter Werkzeuggebrauch verstanden wird. Dies mag zunächst simpel erscheinen, jedoch existieren seit den Anfängen der systematischen Beobachtung des Werkzeuggebrauchs im Tierreichs in den 1950er und '60er Jahren zahlreiche Definitionen und Debatten über deren Angemessenheit.

Als einer der Ersten veröffentlichte Hall (1963) systematische Beobachtungen von Werkzeuggebrauch im Tierreich. Darin beschreibt er Werkzeuggebrauch als das Nutzen eines Objektes oder eines anderen menschlichen Wesens als Mittel, um einen gewissen Vorteil zu erlangen. Bei dem Objekt muss es sich hierbei um ein externes Objekt handeln. Es darf also nicht selbst Teil des Körpers sein (z.B. die Hand). Das Nutzen dieses externen Objektes erweitert den Handlungsspielraum des Individuums oder erhöht die Effizienz seines Wirkens.

Die implizite Annahme einer intentionalen Handlung griff Jane Goodall explizit in ihrer Definition auf: „[Tool use is] the use of an external object as a functional extension of mouth or beak, hand or claw, in the attainment of an immediate goal.“ (van Lawick-Goodall, 1970). Die Intentionalität der Handlung ist bis heute in allen gängigen Definitionen von Werkzeuggebrauch zentrales Element. Zur genauen Beschaffenheit des externen Objektes äußerte sich Goodall hingegen nicht. Wie auch bei Hall (1963) können sowohl unbelebte als auch belebte Objekte als Werkzeug gelten.

Alcock (1972) engte den Definitionsbereich daraufhin deutlich ein. Um Werkzeuggebrauch handelt es sich nach seiner Definition dann, wenn ein unbelebtes, nicht intern hergestelltes Objekt zur Zielerreichung genutzt wird. Darüber hinaus beschreibt er das Handlungsergebnis genauer. Er spricht nicht nur wie Hall (1963) vom Erlangen eines Vorteils, sondern auch davon, dass das separate Zielobjekt im Hinblick auf dessen Form oder Position verändert wird.

Beck (1980) erweiterte die dargestellten Definitionen:

“Tool use is the external employment of an unattached environmental object to alter more efficiently the form, position, or condition of another object, another organism, or the user itself when the user holds or carries the tool during or just prior to use and is responsible for the proper and effective orientation of the tool.“

Im Gegensatz zu Alcock (1972) kehrt Beck (1980) in gewissem Sinn zurück zu früheren, breiteren Definitionen. So ist das Nutzen eines belebten Objektes als Werkzeug mit eingeschlossen. Neu ist, dass nicht nur die Veränderung des Zustandes eines externen Zielobjektes, sondern auch die Zustandsveränderung des Werkzeugnutzers selbst beachtet wird, was ebenfalls zu einer Ausweitung des Definitionsbereichs führt.

Eine wichtige Präzisierung und Einschränkung der als Werkzeuggebrauch geltenden Objekthandlungen erfolgte bereits 1977 durch Parker und Gibson. Sie führten den Begriff des „Proto-Tool Use“ in Abgrenzung zum „wahren“ Werkzeuggebrauch ein. Der entscheidende Unterschied zwischen diesen beiden Arten der Objektmanipulation ist die Relation der Objekte zueinander, d.h. die Beziehung zwischen Werkzeug („Agent of change“) und Zielobjekt („Object of change“).

Sind beide Objekte frei manipulierbar, so handelt es sich um „wahren“ Werkzeuggebrauch. Die Herausforderung besteht hier nicht nur darin, beide Objekte in Relation zueinander zu setzen, sondern auch, die sich verändernde Relation beider Objekte zum Werkzeugnutzer zu beachten. Ein beeindruckendes Beispiel aus dem Tierreich ist das Knacken sehr harter Palmnüsse bei Kapuzineraffen (z.B. Ottoni & Izar, 2008; Visalberghi & Addessi, 2013). Sowohl das Werkzeug (der Stein) als auch das Zielobjekt (die Nuss) verändert seine Position und ist frei manipulierbar.

Beim „Proto-Tool Use“ hingegen ist nur das Zielobjekt frei manipulierbar. Dies ist beispielsweise beim Aufschlagen von Nüssen auf einem Baumstamm der Fall oder auch beim Süßkartoffelwaschen, das bei japanischen Makaken (*Macaca fuscata*, Kawamura, 1958) beobachtet werden kann. Der Baumstamm kann nicht frei manipuliert werden, während sich die Lage der Nuss im Raum jedoch verändert. Auch das Wasser eines Flusses ist nicht frei manipulierbar. Dieses Beispiel zeigt jedoch, dass auch diese Definition nicht problemlos ist. So werden beispielsweise Umstände diskutiert, unter denen auch Wasser als frei manipulierbar und somit als Werkzeug gelten könnte (Bsp. Schützenfische spritzen gezielt Wasser auf Insekten am Ufer; siehe St Amant & Horton, 2008).

Sozialer Werkzeuggebrauch wird bei Parker und Gibson (1977) als eigene Kategorie gesehen. Sie verstehen darunter die intentionale Manipulation eines sozialen Zielobjektes durch den Gebrauch belebter oder unbelebter Objekte (z.B. das Tragen eines Jungtieres als Besänftigungsstrategie bei der Annäherung an ein dominantes Tier oder Objektmanipulation zur Einschüchterung anderer, etwa Steine werfen, Parker & Gibson, 1977, S. 625). „Sozialer Werkzeuggebrauch“ wird nicht immer in dieser Weise definiert. So bezieht sich das Wort „sozial“ bei einigen Autoren auf das Zielobjekt und die Absicht der Objekthandlung (Bsp.

Einschüchterung durch Objektmanipulation, siehe Parker & Gibson, 1977), bei anderen handelt es sich um den Gebrauch eines belebten Objektes zur Erreichung eines Ziels, das nicht unbedingt sozialer Natur sein muss (Bsp. Nutzen eines Artgenossen als „Leiter“, um an einen Apfel zu gelangen, der an einem Baum hängt; anekdotischer Bericht und Video von Frans de Waal, 2012; dieser Definition folgen auch Bentley-Condit & Smith, 2010). Auch können sowohl Ziel als auch Werkzeug belebt sein (z.B. Tragen eines Jungtieres als Besänftigungsstrategie, siehe oben).

Nach wie vor zählt die Definition von Beck (1980) zu den meistverwendeten. Sie wird jedoch auch vielfach kritisiert, da sie sehr breit ist und viele Objekthandlungen als Werkzeuggebrauch klassifiziert ohne zwischen unterschiedlichen Komplexitätsgraden der Handlungen zu differenzieren (Visalberghi & Fragaszy, 2006, 2012, siehe Tabelle 1). Andererseits schließt sie aber auch einige Handlungen aus, die als Werkzeuggebrauch betrachtet werden sollten (z.B. erfolglose, aber intentionale Versuche eines jungen Kapuzineraffen eine Nuss zu bearbeiten; Shumaker, Walkup, & Beck, 2011; St Amant & Horton, 2008).

St Amant und Horton (2008) modifizierten Becks Definition (1980) und versuchten der Kritik gerecht zu werden:

„Tool use is the extension of control over a freely manipulable external object (the tool) with the goal of (1) altering the physical properties of another object, substance, surface or medium (the target, which may be the tool user or another organism) via a dynamic mechanical interaction, or (2) mediating the flow of information between the tool user and the environment or other organisms in the environment“

Viele Aspekte der ursprünglichen Beck'schen Definition blieben erhalten. Die Autoren fügten jedoch als wichtiges Element die Kontrolle über die eigenen Handlungen hinzu. Auch zählen nicht nur Handlungen zum Werkzeuggebrauch, die ein Zielobjektes physisch verändern, sondern auch solche, die zu einer Veränderung des Informationsflusses zwischen dem Werkzeugnutzer und der Umwelt oder zwischen anderen Organismen in der Umwelt führen (z.B. Nutzen einer Brille).

Auch die neue Definition schließt den Gebrauch sozialer Werkzeuge (d.h. das Nutzen eines belebten Objektes) aus, da soziale Agenten nicht frei manipulierbar sind.

Tabelle 1. Komplexitätsniveaus von Werkzeughandlungen in Anlehnung an Visalberghi & Fragaszy (2006, 2012). Die relationale Komplexität beschreibt die zu beachtende Anzahl an Relationen zwischen Objekten und Oberflächen. Handlungen, die Relationen nullter Ordnung umfassen, werden nicht als Werkzeuggebrauch gesehen. Statische Relationen erster Ordnung sind mit dem „Proto“-Werkzeuggebrauch nach Gibson (1977) vergleichbar.

Relationale Komplexität	Definition	Beispiele
Relation nullter Ordnung	Handlung auf ein Objekt konzentriert, Veränderung eines zweiten Objektes kann zufällig, als Nebenprodukt der Handlung, erfolgen	Decke in Reichweite ziehen, auf der ein zweites Objekt liegt
Relation erster Ordnung		
Statisch	Zielgerichtete Handlung mit einem frei manipulierbaren Objekt auf einer fixierten Oberfläche oder einem fixierten Objekt; „Proto“-Tool Use (Gibson, 1977)	Nuss auf eine harte Oberfläche schlagen, um sie zu öffnen
Dynamisch	Zielgerichtete Handlung mit einem frei manipulierbaren Objekt in Relation zu einem frei manipulierbaren oder sich bewegenden Zielobjekt	Nuss mit einem Stab aus einem Rohr stoßen; Objekt in Reichweite ziehen, das noch nicht in Kontakt mit dem Hilfsmittel ist
Relation zweiter Ordnung		
Sequentiell	Zielgerichtete Handlung mit einem frei manipulierbaren Objekt A in Relation zu einem frei manipulierbaren oder sich bewegenden Objekt B, bei Beachtung der Relation zu einem dritten Objekt C (Herstellen einer statischen Relation zwischen B und C, sowie dynamische Relation zwischen A und B)	Nuss wird auf einer Oberfläche oder einem Objekt platziert (statische Relation B zu C), ein Stein (Objekt A) wird dann genutzt, um die Nuss zu knacken (dynamische Relation zwischen A und B unter)
Simultan	Zielgerichtete Handlung mit einem frei manipulierbaren Objekt A in Relation zu einem frei manipulierbaren oder sich bewegenden Objekt B, bei der gleichzeitigen Beachtung und Aufrechterhaltung der Relation zu einem dritten Objekt C (dynamische Relation zwischen A und B, sowie B und C)	Nuss wird auf einer Oberfläche platziert und in Position gehalten (dynamische Relation B zu C), ein Stein (Objekt A) wird dann genutzt, um die Nuss zu knacken (dynamische Relation zwischen A und B); Objekt in Reichweite ziehen und dabei eine Falle (z.B. Loch in Oberfläche) vermeiden

2.1.1. Definition des Werkzeuggebrauchs in der Entwicklungspsychologie

Der Erforschung des Werkzeuggebrauchs wurde in der Entwicklungspsychologie lange Zeit keine Beachtung geschenkt. Auch wenn Mittel-Ziel-Verständnis und Kausalwahrnehmung, sowie das Erkennen und Nutzen funktionaler Objekteigenschaften seit Piaget (1953) von Forschungsinteresse waren, so wurde der Werkzeuggebrauch selten als solcher benannt. Auch gab es keine derart intensive Auseinandersetzung mit definitorischen Fragestellungen.

Eine der ersten Studien, die die (ontogenetische) Entwicklung des Gebrauchs eines Werkzeugs (Löffel) bei Säuglingen und Kleinkindern (11 bis 17 Monate) untersuchte, ist die Studie von Connolly und Dalgleish (1989). Die Autoren weisen darin auf das Fehlen einer einheitlichen Begriffsbestimmung hin und nutzen die von Parker und Gibson (1977) vorgeschlagene Definition. Sie sehen Werkzeuggebrauch als beabsichtigte, intentionale Form komplexer Objektmanipulation, bei der ein Objekt genutzt wird, um die Position, den Zustand oder die Handlung eines anderen Objektes zu verändern (Connolly & Dalgleish, 1989; S. 895).

In den meisten entwicklungspsychologischen Studien fehlt eine solche Einordnung des Verständnisses von Werkzeuggebrauch leider. Für die Erforschung dieser Fähigkeit ist es jedoch wichtig, transparent zu vermitteln, was in einer bestimmten Studie unter Werkzeuggebrauch verstanden wird und welche Aspekte davon untersucht werden.

In der vorliegenden Arbeit soll Werkzeuggebrauch im Sinne der Definition von St Amant und Horton (2008) verstanden werden. Wichtig erscheinen zusätzlich die Anmerkungen zur Unterscheidung mehrerer Komplexitätsniveaus (z.B. im Sinne der Anzahl an zu beachtender Relationen, siehe Tabelle 1, Visalberghi & Fragaszy, 2006, 2012).

Das Phänomen des Werkzeuggebrauchs soll hier nicht als Ganzes betrachtet werden, sondern ein wichtiger Teilaspekt davon soll im Fokus stehen: die kognitiven Schritte vor der eigentlichen Handlungsausführung. Grundlage hierfür ist die Beschreibung von Werkzeuggebrauch als mehrschrittigem Prozess (Berger, Adolph, & Lobo, 2005).

In einer Problemlösesituation gilt es demnach zunächst, eine Diskrepanz zwischen möglichen körperlichen Handlungen und einem erwünschten Ziel zu erkennen. Anschließend muss ein geeignetes Mittel zur Zielerreichung gefunden werden. An dieser Stelle zeigt sich, ob relevante (funktionale) Eigenschaften eines Werkzeugs bereits als solche erkannt werden. Der letzte Schritt besteht darin, das gewählte Mittel korrekt einzusetzen, also die Lösungsidee auch umzusetzen.

Die Einteilung des Werkzeuggebrauchs in die einzelnen Prozesskomponenten ist hilfreich und sinnvoll, um zu verstehen, worin besondere Herausforderungen liegen. Die vorliegende Studie interessierte sich vor allem für den zweiten Schritt, die Auswahl eines geeigneten Mittels

zur Zielerreichung. Erkennen eineinhalb bis zweijährige Kinder bereits, welche Eigenschaften ein Objekt zum nützlichen Werkzeug machen?

Bevor wir uns dieser Fragestellung genauer zuwenden, soll zunächst ein kurzer Überblick über die bisherige Forschung zur menschlichen Entwicklung des Werkzeuggebrauchs erfolgen.

2.2. Ontogenetische Entwicklung des Werkzeuggebrauchs

2.2.1. Objektexploration im Säuglingsalter

„Vom Greifen zum Begreifen“, so wird vielfach ein zentraler Aspekt Piagets Entwicklungstheorie (1953) verkürzt dargestellt. Objektexploration wird als Entwicklungsmotor gesehen. Piaget ging davon aus, dass eigene Denkstrukturen erst durch aktive Erfahrungen mit der Umwelt konstruiert werden können. Zusätzliche Erfahrungen modifizieren diese Denkstrukturen (Akkommodation). Gleichzeitig bestimmen die bereits erworbenen Konzepte aber auch die Wahrnehmung neuer Informationen (Assimilation, d.h. Anpassung neuer Informationen an die bestehenden Schemata). Wenn auch einige Annahmen Piagets mittlerweile überholt sind, so war er doch einer der ersten, der bereits Säuglinge als aktive Konstrukteure ihrer Wirklichkeit sah.

Die Empirie hat bestätigt, dass Säuglinge bereits kurz nach der Geburt damit beginnen, ihre Umgebung aktiv zu erkunden. Zunächst geschieht dies vor allem durch orale Exploration ihrer eigenen Hände, aber auch Objekte in Reichweite werden zum Mund geführt und intensiv durch Saugen und Lutschen untersucht (Butterworth & Hopkins, 1988; Rochat, 1983, 1987). Neugeborene scheinen hierbei bereits sensitiv für Veränderungen der Objektbeschaffenheit zu sein und ihr Saugverhalten flexibel anzupassen. So zeigen sie beispielsweise abhängig von der Materialkonsistenz unterschiedliche Saugtechniken (Rochat, 1983, 1987).

Nach wenigen Monaten werden Objekte dann auch manuell exploriert. In der zweiten Hälfte des ersten Lebensjahres verbessern sich die manuellen Fähigkeiten. Die Objektexploration wird flexibler und zunehmend angepasst an das examinierte Objekt sowie die Umgebung (E. J. Gibson, 1988; Palmer, 1989; Ruff, 1984).

Auch James Gibson (1979) betont die Rolle aktiver Handlung und knüpft damit an Piaget an. Der Mensch lerne durch aktive Interaktion mit der Umwelt, in der er sich bewegt: „We must perceive in order to move, but we must also move in order to perceive“ (J. J. Gibson, 1979, S. 223). Handlung, Wahrnehmung und Wissen sind eng miteinander verwoben und beeinflussen sich wechselseitig. Zentrales Element seiner Theorie ist die Annahme, Objekte besäßen gewisse

Aufforderungscharakteristiken, sogenannte „Affordanzen“¹, die bei der Interaktion mit einem Objekt unmittelbar wahrgenommen werden („Affordance perception“) und die Handlungen mit dem Objekt beeinflussen. Umgekehrt wirken sich auch die Handlungen auf die spätere Wahrnehmung dieser Affordanzen aus.

Auch neuere Studien verdeutlichen die enge Verknüpfung von Wahrnehmung und Handlung: Säuglinge passen nicht nur ihr Explorationsverhalten flexibel an die gegebenen Umstände an; auch die Objektexploration scheint sich auf die Wahrnehmung von Objekten auszuwirken. So zeigt sich beispielsweise ein Zusammenhang zwischen dem Ausmaß an Explorationsverhalten im Alter von 3½ Monaten und der Fähigkeit, Objektgrenzen wahrzunehmen und Objekte somit separieren zu können. Kinder, die aktiver explorierten, konnten auch subtilere Hinweise auf Objektgrenzen wahrnehmen und zwei Objekte als separiert wahrnehmen (Needham, 2000).

Auch die Wahrnehmung der Handlungen anderer scheint durch die eigene Erfahrung beeinflusst zu werden. In einer Studie von Sommerville, Woodward und Needham (2005) sahen 3 Monate alte Kinder in einem Habituations-Dishabituationparadigma in mehreren Durchgängen eine Person, die konsistent nach einem von zwei Objekten griff. In der Testphase griff die Person entweder nach dem gleichen Objekt, das sich nun aber auf der anderen Seite befand (neuer Pfad, gleiches Zielobjekt) oder nach dem anderen Objekt (neues Zielobjekt, gleicher Pfad). Hatten die Kinder zuvor Greiferfahrung mit den Zielobjekten gesammelt (auch hier mit Hilfe von Kletthandschuhen), so waren sie in der Lage, einen Zusammenhang zwischen einer Person und einem spezifischen Objekt zu erkennen. Sie blickten in der Testphase länger auf den Bildschirm, wenn sich das Zielobjekt veränderte. Fehlte ihnen jedoch die Greiferfahrung, zeigten sie keine Unterschiede in der Blickdauer für die beiden Testereignisse und schienen daher keinen Zusammenhang zwischen Person und Zielobjekt herzustellen.

Informationen über die Umwelt, die durch Objektexploration gesammelt werden, beeinflussen also offenbar bereits die Wahrnehmung von sehr jungen Säuglingen und werden auch bei nachfolgenden Handlungen berücksichtigt.

¹ Das Wort „Affordance“ wurde von James Gibson (1979) geprägt und existierte zuvor nicht im Englischen als eigenständiges Wort. „The verb to afford is found in the dictionary, but the noun affordance is not. I have made it up. I mean by it something that refers to both the environment and the animal in a way that no existing term does. It implies the complementarity of the animal and the environment“ (Gibson, 1979, S. 127).

2.2.2. Von der Objektexploration zum Werkzeuggebrauch

Die Objektexploration umfasst stets Subjekt-Objekt-Relationen erster Ordnung: Körper und Zielobjekt sind direkt miteinander verbunden (Bsp. Kind hält eine Rassel). Im Unterschied dazu stellt der Gebrauch eines Werkzeugzeugs eine relational deutlich komplexere Handlung dar. Das Zielobjekt steht nicht in direktem Kontakt zum Akteur. Kontakt wird erst durch ein weiteres, frei manipulierbares Objekt (Werkzeug) hergestellt. Zur Relation zwischen Subjekt und Zielobjekt kommen also zwei weitere Relationen hinzu, die es zu beachten gilt: die Relation zwischen Subjekt und Werkzeug, sowie die Relation zwischen Werkzeug und Zielobjekt.

Lockman (2000) sieht in frühen motorischen Handlungen im Rahmen der Objektexploration Vorläufer späterer Werkzeughandlungen. Werkzeuggebrauch entsteht seiner Meinung nach nicht plötzlich im Kleinkindalter durch einen qualitativen Entwicklungssprung, sondern entwickelt sich kontinuierlich aus frühen, zunächst ungerichteten Explorationshandlungen mit Objekten. Einfache, repetitive Objektmanipulation könne die Basis für reifere Handlungsformen bilden.

Am Beispiel einer der ersten manuellen Objekthandlungen, dem Schlagen von Gegenständen auf eine Oberfläche („banging“), zeigt sich diese Entwicklung in der zweiten Hälfte des ersten Lebensjahres sehr deutlich. Während jüngere Kinder (ab 6 Monaten) eher große, kreisförmige Bewegungen zeigen und die Objekte mit sehr hoher und variabler Geschwindigkeit auf die Oberfläche schlagen, sind die Auf-und-Ab-Bewegungen 12 Monate alter Kinder konsistenter. Die Kinder üben insgesamt weniger, aber gleichmäßiger Kraft aus, so dass die Handlungen gezielter wirken (Kahrs et al., 2013a).

Mit zunehmender manueller Exploration werden Objekte häufiger in Relation zueinander gesetzt. Zwischen 6 und 10 Monaten zeigt sich eine deutliche Zunahme der Handlungsanpassung in Abhängigkeit der involvierten Objekte und Untergründe (Bourgeois, Khawar, Neal, & Lockman, 2007). Dies bildet die Grundlage für den gezielten und kontrollierten Werkzeugeinsatz.

Für die Annahme einer kontinuierlichen Entwicklung des Werkzeuggebrauchs aus der Objektmanipulation sprechen auch Befunde aus der Tierforschung: Auch bei Schimpansen (*Pan troglodytes*), Kapuzineraffen (*Sapajus apella*²) und Neukaledonischen Krähen (*Corvus moneduloides*), die auch in der Wildnis routiniert, vielseitig und flexibel Werkzeuge nutzen (für einen Überblick

² Die Bezeichnung *Sapajus apella* existiert erst seit dem Jahre 2011. Zuvor wurden alle gehaubten Kapuzineraffen als *Cebus apella* klassifiziert. Lynch Alfaro, Silva Jr. und Rylands (2012) plädieren nach morphologischen, genetischen und ökologischen Analysen, sowie Untersuchungen des Verhaltens und der Biogeografie für eine Unterteilung in robuste (*Sapajus*) und grazile Kapuzineraffen (*Cebus*).

siehe Sanz et al., 2013), scheinen lange Phasen der Objektexploration aufzutreten, bevor Objekte gezielt als Werkzeuge genutzt werden (Bluff et al., 2007).

Überträgt man Gibsons Annahmen (1979) einer wechselseitigen Beeinflussung von Wahrnehmung und Handlung auf den Werkzeuggebrauch, so wird schnell deutlich, dass das Nutzen eines Objektes als Werkzeug den Explorations- und Handlungsspielraum einer Person verändert (Lockman, 2000). So ist es zum Beispiel ein deutlicher Unterschied, ob man einen unter die Couch gefallenen Schnuller mit der Hand herauszieht oder ob man dazu einen Stift oder Kochlöffel benutzt. Die Handlungen müssen erst entsprechend angepasst werden. Damit einher gehen Veränderungen der Wahrnehmung dieser Handlungsmöglichkeiten sowie die Veränderung der Objektwahrnehmung (d.h. auch der Affordanz-Wahrnehmung).

Mittlerweile gibt es einige Studien, die diese Annahmen unterstützen. Bei erwachsenen Menschen (Cardinali et al., 2012) und japanischen Makaken (*Macaca fuscata*; Iriki, Tanaka, & Iwamura, 1996) werden Werkzeuge nach kurzer Nutzungsdauer ins Körperschema integriert. Die Wahrnehmung des eigenen Körpers und seiner Grenzen verändert sich durch die intentionale Handlung mit frei manipulierbaren Objekten. Interessanterweise wird jedoch nur der funktional relevante Teil eines Werkzeugs ins Körperschema aufgenommen. Beispielsweise erfolgt keine Verlängerung der Armrepräsentation um die absolute Länge eines Objektes, sondern es wird nur der Teil ins Körperschema integriert, der den Handlungsspielraum auch erweitert. Ist ein Stab beispielsweise 60 cm lang und besitzt ein funktionales Querstück, mit dem etwas in Reichweite gezogen werden kann, nach 30 cm, so werden nur 30 cm in das Körperschema integriert und nicht 60 cm (Farnè, Iriki, & Ládavas, 2005). Ob und inwiefern eine solche Körperschemaplastizität bereits bei Kleinkindern existiert, gilt es noch zu untersuchen. Sie könnte jedoch ebenfalls maßgeblich zur Entwicklung effizienten Werkzeuggebrauchs beitragen.

2.2.3. Mittel-Ziel-Verhalten

Ein weiteres wichtiges Unterscheidungsmerkmal zwischen Objektexploration und Werkzeuggebrauch ist die Intentionalität. Ohne bewusstes Ziel handelt es sich lediglich um ungerichtetes Explorationsverhalten. Ein Ziel ist ein Soll-Zustand, der vom gegenwärtigen Ist-Zustand abweicht. Das Überwinden einer solchen „Lücke“ bezeichnet man als Problemlösen (Funke, 2011, S. 31). Ist ein Ziel nicht ohne Hilfsmittel zu erreichen, erfordert dies den Gebrauch eines Werkzeugs.

Der erste Schritt des Werkzeuggebrauchs besteht darin, den Ist-Zustand zu repräsentieren und die Diskrepanz zwischen Ist- und Soll-Zustand zu erkennen (Abbildung 1, siehe auch Berger

et al., 2005). Möchte ein Kind beispielsweise mit einem Spielzeugauto spielen, das weit unter einer Couch liegt, so muss es zunächst erkennen, dass der eigene Arm zu kurz ist, um an das Auto zu gelangen. Es gilt, im nächsten Schritt ein funktionales Hilfsmittel zu finden, um den Soll-Zustand zu erreichen. Das Kind könnte beispielsweise ein Lineal holen, das auf einem Schreibtisch neben der Couch liegt, und versuchen, damit an das Spielzeugauto zu gelangen. Je komplexer die Mittel-Ziel-Relation ist, desto förderlicher kann es für die Zielerreichung sein, die Handlungen mit dem Werkzeug vorher zu planen. Auf den tatsächlichen Einsatz des Werkzeugs folgt dann die Bewertung, ob das Ziel erreicht, der Soll-Zustand hergestellt wurde. Ist dies nicht der Fall, so kann dies daran liegen, dass das Kind das Hilfsmittel nicht zielführend einsetzen konnte. Beispielsweise hat es das Lineal ungeschickt benutzt und somit das Spielzeugauto möglicherweise noch weiter unter die Couch geschoben. Es kann jedoch auch sein, dass das gewählte Hilfsmittel keine passenden funktionalen Eigenschaften besitzt und es daher nicht möglich ist, das Problem mit diesem Hilfsmittel zu lösen. Das Lineal könnte beispielsweise zu kurz sein. Auch könnte ein hakenförmiges Endstück hilfreicher sein und eher zum Ziel führen. In diesem Fall könnte das Kind zum Beispiel zum Schirmständer gehen und einen Stockschild mit gebogenem Griff holen. Ein gewisses Maß an Mittel-Ziel-Verständnis ist wichtig, um Problemlösungen gezielt anzugehen.

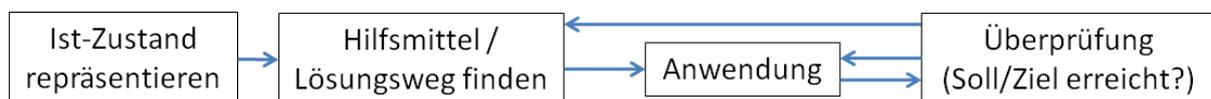


Abbildung 1. Phasen des Problemlöseprozesses in Anlehnung an Berger et al. (2005)

Da im Beispiel ein frei manipulierbares Objekt (ein Lineal oder ein Schirm) eingesetzt wurde, um das Zielobjekt zu erreichen, handelt es sich um „wahren“ Werkzeuggebrauch. Dieser erfordert mehrschrittiges Mittel-Ziel-Verhalten. Nach der Auswahl eines Hilfsmittels muss zuerst Kontakt mit dem Ziel hergestellt werden, ehe diese mit Hilfe des gewählten Werkzeugs erreicht werden kann.

Mittel-Ziel-Verhalten zeigt sich jedoch auch bereits auf einfacherer Ebene (Bates, Carlson-Luden, & Bretherton, 1980; Piaget, 1953; Uzgiris & Hunt, 1975; Willatts, 1984, 1999). Auch beim „Proto“-Werkzeuggebrauch oder bei Handlungen mit Objekten, die Relationen nullter Ordnung umfassen (siehe Tabelle 1, S. 15), kann man bereits von Mittel-Ziel-Relationen sprechen. Das

Zielobjekt ist bereits im Kontakt mit dem Hilfsmittel und es ist nur ein Schritt notwendig, um das Problem zu lösen.

Untersuchungen zum einfachen Mittel-Ziel-Verhalten

Bereits Piaget (1953) untersuchte solche einfachen Mittel-Ziel-Verhaltensweisen. Er beobachtete beispielsweise, dass bereits 9 Monate alte Kinder gezielt an einem Tuch zogen, um an ein Spielzeug zu gelangen, das auf dem Tuch lag. Zwar traten auch bei jüngeren Kindern ähnliche Handlungen auf, nach Piaget waren diese jedoch nicht intentional, sondern vielmehr zufälliger Natur. Die Kinder spielten mit dem Tuch und schienen überrascht zu sein, wenn sie plötzlich das Objekt auf dem Tuch erreichen konnten. Um von Mittel-Ziel-Verhalten zu sprechen, ist die Intention, das Objekt mit Hilfe des Mittels zu erreichen, jedoch grundlegend. Piaget sprach erst von Mittel-Ziel-Verhalten, wenn offensichtliche Zeichen intentionalen Handelns zu erkennen waren. Hierfür musste der Aufmerksamkeitsfokus auf dem Zielobjekt liegen und mit dem Hilfsmittel an sich durften keine spielerischen Handlungen ausgeführt werden (Piaget, 1953, zit. nach Willatts, 1999).

Piaget nahm an, dass zuerst kognitive Strukturen entstehen müssten, die das Ausbilden eines Ziels ermöglichen und somit die Grundlage für intentionales Handeln bilden. Darüber hinaus müsse sich das Kind Wissen über Mittel-Ziel-Relationen aneignen. Im Falle des Tuches wäre Wissen über Unterstützungsrelationen notwendig, um das Tuch intentional einzusetzen. Diese Voraussetzungen entwickelten sich kontinuierlich und seien vor dem 9. Lebensmonat noch nicht vorhanden. Es trete daher noch kein Mittel-Ziel-Verhalten im eigentlichen Sinne auf. Verhaltensweisen, die nach Mittel-Ziel-Verhalten aussehen, seien Übergangsverhaltensweisen, die zufällig zustande kämen und zum späteren Entstehen wahren Mittel-Ziel-Verhaltens beitragen.

Willatts (1999) untersuchte diese Annahme in einer Längsschnittstudie. Ziel der in der Studie genutzten Aufgabe war es, an ein Spielzeug zu gelangen, welches außer Reichweite lag. Das Objekt befand sich zunächst auf einem Tuch, welches die Kinder mit der Hand erreichen konnten. Allen Altersgruppen (6, 7 und 8 Monate) gelang es annähernd gleich gut, das Spielzeug in Reichweite zu ziehen. Es zeigten sich jedoch deutliche Unterschiede hinsichtlich der eingeschätzten Intentionalität des Verhaltens. Das Verhalten wurde mit zunehmendem Alter intentionaler eingeschätzt. Während 6 Monate alte Kinder häufig mit dem Tuch spielten und das Erreichen des Spielzeugs Nebenprodukt der Spielhandlungen zu sein schien, fixierten ältere Kinder häufiger das Zielobjekt während sie die Decke manipulierten und zeigten weniger Spielhandlungen. Ab 7 Monaten zogen die Kinder zudem häufiger am Tuch, wenn auch tatsächlich ein Spielzeug auf dem Tuch lag. Erst mit 8 Monaten gelang es jedoch, die Handlungen

an die Distanz des Spielzeuges anzupassen, also so lange am Tuch zu ziehen bis das Zielobjekt erreicht war. Jüngere Kinder stellten das Ziehen am Tuch bei größeren Distanzen zu früh ein.

Eine Studie von Bates et al. (1980) legt nahe, dass „wahrer“ Werkzeuggebrauch im Vergleich zum hier beschriebenen Objektgebrauch nullter Ordnung anspruchsvoller ist. Die Autoren realisierten unterschiedliche Mittel-Ziel-Relationen. Sie orientierten sich dabei an den von Uzgiris und Hunt (1975) beschriebenen Ordinalskalen der kognitiven Entwicklung. Diese umfassen unter anderem eine Testbatterie zur Erfassung des Mittel-Ziel-Verständnisses mit unterschiedlich komplexen Mittel-Ziel-Relationen. Die räumliche Anordnung von Zielobjekt (Spielzeug) und Hilfsmittel (Tuch, Schnur, Reif, Haken, Stab) wurde variiert, so dass in einigen Situationen bereits direkter Kontakt zwischen beiden Objekten bestand (Relation nullter Ordnung nach Visalberghi & Fragaszy, 2006, 2012, siehe Tabelle 1, S. 15) oder der Kontakt erst hergestellt werden musste („wahrer“ Werkzeuggebrauch, dynamische Relation erster Ordnung).

9 bis 10 Monate alte Säuglinge zeigten schlechtere Leistungen und seltener intentionales Verhalten, wenn der physikalische Kontakt zwischen Zielobjekt und Hilfsmittel erst hergestellt werden musste (z.B. Haken liegt in kleinem Abstand neben einem Spielzeug). Etwas einfacher schienen Aufgaben zu sein, bei denen physikalischer Kontakt bestand, der jedoch während des Handelns unterbrochen werden konnte (z.B. Haken berührt Spielzeug). Am leichtesten fiel den Säuglingen das Lösen der Aufgabe, wenn es sich bei dem Problem um eine bereits hergestellte Unterstützungsrelation handelte, die während der Handlungsausführung nicht zu zerstören war (z.B. wenn ein Spielzeug bereits auf einem Tuch liegt, wie bei Willatts, 1999, oder eine Schnur an einem Spielzeug befestigt ist).

Interessanterweise zeigte sich zudem, dass es den Kindern leichter fiel, die Aufgabe zu lösen, wenn Zielobjekt und Werkzeug sich in Farbe oder Textur deutlich voneinander unterschieden. Folglich scheinen perzeptuelle Aspekte einen wesentlichen Beitrag zur Komplexität der Mittel-Ziel-Relation zu leisten.

Auch die Erfahrung mit und das Verständnis der entsprechenden Relationen könnte sich darauf auswirken, wie schwierig bestimmte Konfigurationen sind. So scheinen Unterstützungsrelationen nicht nur früher aktiv als Mittel genutzt zu werden, auch das Verständnis für diese Art von Relation scheint früher entwickelt zu sein als für Umschließungsrelationen (Schlesinger & Langer, 1999).

Doch ist die Interpretation des Mittel-Ziel-Verhaltens im Alter von 7 Monaten als „intentional“ (siehe Willatts, 1999) gerechtfertigt oder könnte das Verhalten möglicherweise auch einfacher erklärt werden und schlicht ein Resultat basaler Bottom-up-Prozesse sein?

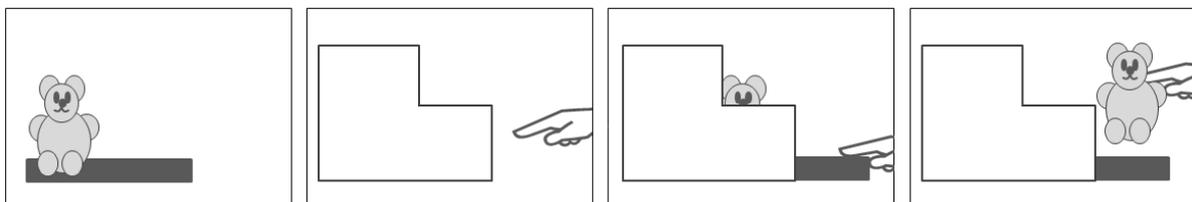
Munakata, Bauer, Stackhouse, Landgraf und Huddleston (2002) gingen dieser Frage nach. Sie knüpften hierbei an eine Vorgängerstudie an, in der 7 Monate alte Kinder zunächst trainiert wurden, ein Spielzeug mit Hilfe einer Decke in Reichweite ziehen oder durch das Drücken eines Knopfes zu erlangen (Munakata, McClelland, Johnson, & Siegler, 1997). In einer darauf folgenden Testphase führten die Kinder deutlich häufiger die relevanten Mittel-Ziel-Handlungen in Versuchsdurchgängen aus, in denen auch tatsächlich eine Belohnung (ein Ziel) vorhanden war. Konnten die Kinder nicht sehen, ob ein Spielzeug anwesend war oder nicht, so zeigten sie seltener die gelernten Mittel-Ziel-Handlungen als wenn sie ein anwesendes Spielzeug sehen konnten, aber häufiger, als wenn sie sehen konnten, dass kein Spielzeug vorhanden war.

Die Autoren schlossen daraus, dass die Kinder ein gewisses Verständnis der Mittel-Ziel-Relation zeigten. Anhänger des „Dynamic-Systems“-Ansatzes (z.B. Smith & Thelen, 2003) merkten hingegen an, dass eine einfachere Bottom-up-Interpretation der Befunde nicht ausgeschlossen werden könne. Der Dynamic-Systems-Ansatz geht davon aus, dass Kognitionen durch Interaktionen, d.h. durch die eigene Erfahrung mit der Umwelt, entstehen. Verhalten wird als Resultat eines bestimmten Aktivitätsmusters gesehen, das in Abhängigkeit der individuellen Erfahrung und Lerngeschichte durch bestimmte Kontexte ausgelöst wird (Thelen, 2000). Die Anwesenheit eines belohnenden Stimulus kann demnach zu erhöhter neuronaler Erregung (Arousal) führen, die zuvor verstärktes Verhalten auslöst. Da die Kinder in der Studie von Munakata et al. (1997) das notwendige Mittel-Ziel-Verhalten in einer Trainingsphase erlernt hatten, könnte die Anwesenheit der Belohnung zu einer Erhöhung der neuronalen Erregung geführt haben, die dann das zuvor in der Trainingsphase erlernte, verstärkte Verhalten auslöste. Zur höchsten Erregung und damit der größten Wahrscheinlichkeit des Auftretens dieses Verhaltens käme es bei der sichtbaren Anwesenheit der Belohnung. Etwas geringer sollte die Erregung sein, wenn unklar ist, ob eine Belohnung vorhanden ist oder nicht; und am geringsten fiel die Erregung aus, wenn klar sichtbar keine Belohnung vorhanden ist. Die Ergebnisse könnten somit ohne Top-down-Erklärung interpretiert werden.

Munakata et al. (2002) replizierten die Studie als Reaktion auf diese Kritik mit 7 Monate alten Kindern und fügten Kontrollbedingungen hinzu, in denen sich flexible Verhaltensanpassungen zeigten, die der Annahme, gelernte Verhaltensmuster seien lediglich durch neuronale Erregung ausgelöst worden, widersprachen. Darüber hinaus zeigen neuere Studien, dass die Betonung eines Ziels im Vergleich zur Demonstration einer zielrelevanten Handlung, förderlicher für das Lösen von Mittel-Ziel-Problemen zu sein scheint (z.B. Gerson & Woodward, 2013), was sich nicht ohne weiteres mit der angeführten Bottom-up-Erklärung vereinbaren lässt.

Dass sogar bereits deutlich früher als mit 7 Monaten eine Wissensbasis für das Verständnis unterschiedlicher Mittel-Ziel-Relationen vorhanden sein könnte, zeigen Studien, die statt Mittel-Ziel-Handlungen vor allem das Blickverhalten als Indikator für Mittel-Ziel-Verständnis sehen (Baillargeon, 1993). Bereits 6½ Monate alte Kinder scheinen zwischen unmöglichen und möglichen Mittel-Ziel-Handlungen unterscheiden zu können. Es zeigten sich längere Blickzeiten, wenn unmögliche Mittel-Ziel-Handlungen dargeboten wurden (ein Spielzeugbär wurde hinter einem Wandschirm mit einem Tuch in Reichweite gezogen, auch wenn er zuvor neben dem Tuch saß), als wenn mögliche Mittel-Ziel-Ereignisse präsentiert wurden (der Bär wurde hinter dem Wandschirm in Reichweite gezogen, saß zuvor aber auch auf dem Tuch; siehe Abbildung 2; Baillargeon, DeVos & Black, 1992, zit. nach Baillargeon, 1993).

Mögliches Ereignis



Unmögliches Ereignis

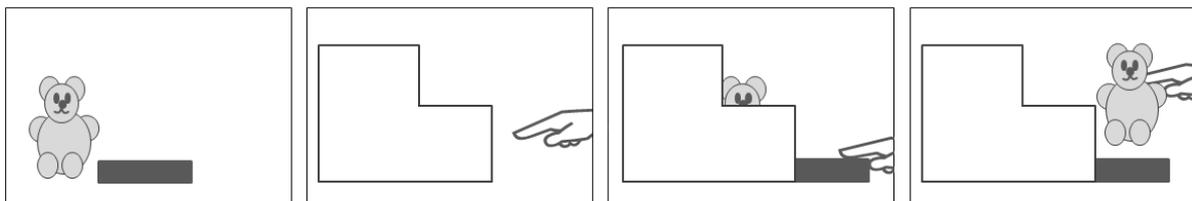


Abbildung 2. Schematische Darstellung der dargebotenen Ereignisse in der Studie von Baillargeon, DeVos & Black (1992), Grafik angelehnt an Baillargeon (1993)

Bereits ehe sich intentionales Handeln bei Unterstützungsrelationen zeigt, scheint also eine gewisse Sensitivität für die involvierte Mittel-Ziel-Relation vorhanden zu sein. Dass sich dies nicht direkt im Verhalten zeigt, passt zu Befunden, die auch in anderen Bereichen eine Diskrepanz zwischen Blickverhalten und manuellen Handlungen feststellen konnten. So begehen Kinder zwischen 8 und 12 Monaten beispielsweise häufig den bekannten A-nicht-B-Suchfehler und suchen ein Objekt an dem Ort, an dem sie es zuvor erfolgreich gesucht haben, auch wenn sie gesehen haben, dass das Objekt den Ort gewechselt hat (Diamond, 1985; Piaget, 1954). Untersucht man jedoch statt der Greifreaktion der Kinder deren Blickverhalten, so schauen die

meisten Kinder bereits länger auf den korrekten Ort, das neue Versteck (z.B. Ahmed & Ruffman, 1998; Baillargeon & Graber, 1988; Hofstadter & Reznick, 1996).

Blickverhalten und eigene Handlungen, Verständnis und tatsächliches Verhalten stimmen also nicht immer überein. Auch noch im Kleinkindalter stößt man immer wieder auf Befunde dieser Art (z.B. Hood, Cole-Davies, & Dias, 2003; Mash, Novak, Berthier, & Keen, 2006). Jedoch gibt es auch Studien, die Übereinstimmungen zwischen Blick- und Greifverhalten im Säuglingsalter finden (Bell & Adams, 1999).

Bei Erwachsenen weisen viele Studien darauf hin, dass Wahrnehmung, Wissen und eigene Körpererfahrung nahezu untrennbar miteinander verwoben zu sein scheinen und einem gemeinsamen Enkodierprinzip folgen (Barsalou, 1999, 2008; Prinz, 1997). In welcher Weise und unter welchen Umständen sich diese Prozesse im Säuglings- und Kleinkindalter gegenseitig beeinflussen, ist Gegenstand aktueller Forschungsdebatten (Daum, Prinz, & Aschersleben, 2011; Smith, Thelen, Titzer, & McLin, 1999; Thelen, 2000).

Daum, Prinz und Aschersleben (2009) untersuchten in einem Within-Subject-Design den Zusammenhang zwischen der frühen Sensitivität für mögliche Mittel-Ziel-Relationen (Blickpräferenzparadigma von Baillargeon et al., 1992, aus Baillargeon, 1993) und den eigenen Mittel-Ziel-Handlung im Alter von 6 Monaten (Paradigma von Willatts, 1999). Wie bei Baillargeon et al. (1992) differenzierten die Kinder zwischen dem möglichen und unmöglichen Ereignis und zeigten längere Blickzeiten für das unmögliche Ereignis. Auch die Ergebnisse von Willatts (1999) konnten repliziert werden: Die meisten Handlungen wurden als nur teilweise intentional eingeschätzt. Interessanterweise unterschieden sich Kinder, die planvolleres Handeln zeigten, nicht hinsichtlich ihrer Blickpräferenz von Kindern, deren Handeln als eher unintentional eingeschätzt wurde.

Die Befunde stehen scheinbar im Widerspruch zu Studienergebnissen, die bereits einen frühen Zusammenhang zwischen Wahrnehmung (gemessen als Blickverhalten) und eigener Handlung zeigen (z.B. Bell & Adams, 1999; Daum et al., 2011; Schlesinger & Langer, 1999; Sommerville & Woodward, 2005). Wesentlich für die Erklärung dieses Widerspruchs könnten hierbei zum einen die Aufgabenkomplexität (Daum et al., 2011: reines Greifen, d.h. einfachere Aufgabe), das Alter der Kinder (Bell & Adams, 1999: 8 Monate; Schlesinger & Langer, 1999: 8 bis 12 Monate; Sommerville & Woodward, 2005: 10 Monate) und das genutzte Versuchsdesign sein (Schlesinger & Langer, 1999: Between-Subject-Design).

Um zu verstehen, woran es liegen könnte, dass vorhandenes Wissen nicht in korrespondierende Handlungen umgesetzt wird, kann es hilfreich sein, sich die einzelnen Phasen des Mittel-Ziel-Prozesses genauer anzusehen:

Wie zuvor beschrieben erfordert die Ausführung geplanter Mittel-Ziel-Handlungen das Erkennen des Problems, die Suche eines geeigneten Mittels, unter Umständen auch die Planung der Werkzeughandlung und die tatsächliche Ausführung der Mittel-Ziel-Handlung (siehe Abbildung 1, S. 21). In jeder dieser Phasen des Problemlöseprozesses kann es zu Problemen kommen (Zelazo, Carter, Reznick, & Frye, 1997).

Handlungsplanung

Gelingt bereits das Erkennen des Problems und möglicherweise auch die geeignete Auswahl eines Hilfsmittels, so können immer noch Probleme in den darauf folgenden Phasen auftreten. Gründe für eine Diskrepanz zwischen dem Erkennen der richtigen Lösung und der tatsächlichen Ausführung dieser Lösung könnten beispielsweise in der Handlungsplanung begründet liegen (siehe auch Daum et al., 2009).

Zwar ist Planen nicht zwingend erforderlich, um Probleme zu lösen (Ellis & Siegler, 1997). Durch die vorausschauende Planung können jedoch unnötige Kosten, die durch Lösungsversuche nach dem Versuch-und-Irrtum-Prinzip entstehen, vermieden und die Handlungseffizienz gesteigert werden. Bisher ist die Planungsfähigkeit vor dem dritten Lebensjahr noch kaum erforscht. Dies liegt nicht zuletzt an einem Mangel an altersadäquaten Erfassungsmethoden der Planungsfähigkeit im präverbalen Alter (siehe McCormack & Atance, 2011). Einige wenige Studien legen die Annahme rudimentärer Formen antizipatorischen Verhaltens gegen Ende des ersten Lebensjahres nahe.

Willatts (1990) interpretiert das Verhalten 9 Monate alter Kinder bereits als planvoll. Ein Hindernis konnte schneller aus dem Weg geräumt werden und es wurde schneller an einer Decke hinter dem Hindernis gezogen, wenn auf dieser Decke ein begehrteter Spielzeug lag. Befand sich das Spielzeug neben der Decke, so wurde die Barriere selbst als Spielzeug genutzt und die Decke wurde zumeist ignoriert (Willatts, 1984, zit. nach Willatts, 1990). 12 Monate alte Kinder zeigten auch in einer komplexeren Situation solch „planvolles“ Verhalten, wenn es möglich war, an ein Spielzeug zu gelangen: Sie räumten zunächst ein Hindernis aus dem Weg und zogen anschließend an einer Decke, um an ein Seil zu gelangen, an dem ein Spielzeug befestigt war. Ohne physischen Kontakt zwischen Seil und Spielzeug hingegen wurde deutlich häufiger mit dem Hindernis selbst gespielt. Auch dauerte es länger, bis das Tuch berührt wurde und das Seil wurde deutlich seltener in Reichweite gezogen (Willatts & Rosie, 1988, zit. nach Willatts, 1990).

McCarty, Clifton und Collard (1999) boten 9, 14 und 19 Monate alten Kindern in mehreren Durchgängen horizontal auf einem Gestell mit Apfelsäure gefüllte Löffel dar. In einigen Durchgängen zeigte der Griff des Löffels nach rechts, in anderen nach links. Die Mehrzahl der

Kinder zeigte vor Beginn des Versuches eine deutliche Handpräferenz. Somit konnten schwierigere und einfachere Durchgänge definiert werden. In Durchgängen, in denen die Seite des Löffelgriffes mit der präferierten Hand übereinstimmte, war es deutlich einfacher, den Löffel aufzunehmen als in Durchgängen, in denen sich dies widersprach. Um den Löffel am effizientesten zu nutzen, musste in schwierigen Durchgängen die nicht-dominante Hand genutzt werden. Die 9 und 14 Monate alten Kinder nutzten zumeist auch in schwierigen Durchgängen ihre dominante Hand. Es mussten daher häufiger Korrekturen vorgenommen werden. Die 19 Monate alten Kinder hingegen nutzten in schwierigen Durchgängen überzufällig häufig ihre nicht-dominante Hand und vermieden somit Korrekturen. Die Autoren deuteten dies als Zeichen von Antizipation und Planungsfähigkeit.

Planvolles Handeln scheint auch durch die involvierten Objekt-Subjekt-Relationen beeinflusst zu werden. Bei selbstgerichtetem Objektgebrauch, wie in der Studie von McCarty et al. (1999), scheint antizipatorisches Verhalten früher aufzutreten als bei fremdgerichtetem Objektgebrauch. So nutzten Kinder im Alter von 14 Monaten unterschiedliche Greifmethoden und variierten ihre Greifgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Lage des Objektgriffs (McCarty et al., 2001). Bei selbstgerichteten Handlungen (z.B. sich selbst mit einer Bürste bürsten) gelang es hierbei häufiger, den effizientesten Griff zu nutzen (d.h. Anfassen des Objekt am Griff, der Handrücken zeigt dabei nach oben, der Daumen zum Endstück) und es mussten somit auch weniger Korrekturen vorgenommen werden als bei fremdgerichteten Handlungen (z.B. eine Puppe mit einer Bürste bürsten). Die Kinder griffen in diesen Fällen langsamer nach dem Hilfsmittel. Die Autoren schlossen aus der langsameren und an die Situation angepassten Strategie, dass die Kinder bei selbstgerichteten Handlungen eher vorausschauend planen konnten als bei fremdgerichteten (ähnliche Befunde auch bei Claxton, Keen und McCarty, 2003). Die meisten der zuvor beschriebenen Mittel-Ziel-Handlungen umfassen eben solchen fremdgerichteten Objektgebrauch und könnten daher umso schwieriger sein.

In Studien mit älteren Kindern zum fremdgerichteten Werkzeuggebrauch wurde das flexible Nutzen einer bestimmten Handseite nicht nur in Abhängigkeit von der Hilfsmittelposition untersucht, sondern es wurden sowohl die Position des Hilfsmittels als auch die Position des Ziels variiert. Es mussten also mehr Relationen beachtet werden als in den zuvor dargestellten Studien. Somit handelt es sich um komplexere Werkzeuggebrauchshandlungen (siehe Visalberghi & Fragaszy, 2006, 2012). Hierbei zeigte sich, dass erst im Alter von drei Jahren häufiger die nicht-dominante Hand in schwierigen Durchgängen genutzt wurde als mit zwei Jahren (Cox & Smitsman, 2006).

Das motorische Verhalten kann jedoch nicht immer eindeutig als Planung interpretiert werden. Die Geschwindigkeit bei der Handlungsausführung muss nicht in direktem Zusammenhang mit der Planung dieses Verhaltens stehen. Sie kann ebenso von motorischem Geschick abhängen. Darüber hinaus ist es problematisch, Erfolg und Misserfolg als Zeichen von Planungsverhalten zu interpretieren. Eine geplante Handlung kann ebenso erfolglos sein wie eine spontane, zufällige Handlung. Umgekehrt muss Misserfolg kein Zeichen mangelnder Planungsfähigkeit sein. Handlungsplanung und -ausführung sind meist schwer voneinander zu trennen, wenn die Probanden noch nicht sprechen und die Pläne mitteilen können.

Häufig bleibt auch unklar, wie viel prospektive Planung für das beobachtete Verhalten notwendig ist und wie viel dem Einfluss perzeptueller, handlungsleitender Merkmale des Hilfsmittels und der Situation geschuldet ist (siehe Kapitel 2.2.1., S. 17). In den oben beschriebenen Studien zur Planung motorischer Handlungen unterschieden sich die Ziele in perzeptueller Hinsicht voneinander. In den Studien von Willatts (1990) war das Zielobjekt in einer Bedingung verbunden mit dem Hilfsmittel, in der anderen nicht. Dies könnte perzeptuell unterschiedliche Reaktionen auslösen. Auch im Falle des Löffels unterscheiden sich die Situationen, in denen der Griff des Löffels nach links oder rechts zeigt, perzeptuell voneinander.

Claxton, Keen und McCarty (2003) untersuchten aus diesem Grund die prospektive Handlungsanpassung in Situationen, in denen sich die Situationen perzeptuell gleichen. Der einzige Unterschied lag in der Handlungsintention: Ein Ball sollte entweder weg geworfen oder in ein senkrechtes Rohr gesteckt werden, aus dem er anschließend wieder herausfiel. Bereits 10½ Monate alte Kinder passten ihr Verhalten an die Situation an und nahmen den Ball wesentlich schneller auf, wenn sie ihn warfen, als wenn sie ihn in das Rohr steckten. Wichtig ist es im Vergleich zu den oben dargestellten Studien anzumerken, dass es sich hierbei jedoch nur um einfache Greifhandlungen und kein Mittel-Ziel-Verhalten handelte.

Wie beim Ausführen einfacher Mittel-Ziel-Handlungen scheint sich auch hinsichtlich der Planungsfähigkeit die Betonung des Zielzustandes besonders förderlich auszuwirken. Zumindest im Kleinkindalter (21 bis 27 Monate) erfolgte eher eine korrekte und anscheinend geplante Abfolge mehrerer Handlungsschritte, wenn das Ziel der Aufgabe zuvor betont wurde. Eine Demonstration des ersten Handlungsschrittes führte hingegen nicht zu einer vergleichbaren Verbesserung der Planungsfähigkeit (Bauer, Schwade, Saeger Wewerka, & Delaney, 1999).

Handlungsausführung

Neben der Handlungsplanung kann auch die Handlungsausführung zu Beeinträchtigungen des gezeigten Mittel-Ziel-Verhaltens führen. Baillargeon (1993) sieht hier vor allem den Konflikt

zwischen einer erwünschten Zielhandlung und der Handlung, die ausgeführt werden muss, um an das Zielobjekt zu gelangen als wichtigen Einflussfaktor. Um erfolgreich zu sein, muss also ein dominanter Impuls (nach dem begehrten Zielobjekt greifen) zugunsten eines weniger dominanten Impulses (z.B. zunächst ein Hilfsmittel gebrauchen, um die ein Hindernis aus dem Weg zu räumen) unterdrückt werden. Selbst bei einfacheren Handlungen, die keinen Hilfsmiteinsatz erfordern, fällt es Kindern in den ersten Lebensjahren noch schwer, einem dominanten Handlungsimpuls zu widerstehen und stattdessen eine weniger dominante Handlung auszuführen (z.B. nicht auf direktem Weg nach einem Spielzeug greifen, sondern um eine transparente Barriere herum, siehe *Detour Reaching* oder *Object Retrieval Task*, Diamond & Gilbert, 1989; auf ein leeres Behältnis zeigen statt auf ein volles, um eine Belohnung zu erhalten, siehe *Window Task*; Russell, Mauthner, Sharpe, & Tidswell, 1991).

Auch auf Ebene der Aufmerksamkeit ist diese Fähigkeit bedeutsam. Der Fokus muss auf beides gerichtet werden, auf Mittel und Ziel, und nicht nur auf das begehrte Zielobjekt. Die Inhibitionsfähigkeit als eine Komponente Exekutiver Funktionen entwickelt sich maßgeblich in den ersten Lebensjahren (Diamond, 2013; Garon, Bryson, & Smith, 2008; McGuigan & Núñez, 2006). Ihre Bedeutsamkeit sowohl für die Planung als auch für die Ausführung von Handlungen und das Lösen von Problemen wird später noch deutlicher werden.

Einen weiteren Einflussfaktor stellt die motorische Entwicklung dar. Sie beeinflusst maßgeblich, wie erfolgreich die Handlungsausführung ist und unter Umständen auch, ob ein Verhalten auf den Beobachter intentional wirkt oder nicht. Dies dürfte insbesondere bei komplexeren Mittel-Ziel-Handlungen relevant sein (siehe auch Munakata et al., 1997).

Zuletzt können Schwierigkeiten auch in der Koordination von Planung und Ausführung begründet liegen. Selbst wenn beide Aspekte alleine ohne Probleme möglich sind, könnte die Kombination zu viel kognitive Kapazität beanspruchen.

2.2.4. Zusammenfassung und Bedeutung für die vorliegende Studienreihe

Die im Entwicklungsverlauf zunehmende Erfahrung mit der Umwelt beeinflusst die Wahrnehmung und das Handeln mit Objekten. So können immer komplexere Relationen beim Umgang mit Objekten berücksichtigt werden. Aus ungerichteter Explorierfreude und Objektmanipulation entwickelt sich die zielgerichtete Nutzung von Objekten als Hilfsmittel. Zunächst zeigt sich dies in eher einfachen Mittel-Ziel-Verhaltensweisen, die jedoch zunehmend intentionaler und geplanter werden.

Besonders relevant ist in diesem Zusammenhang die gelegentlich auftretende Diskrepanz zwischen intentionalem Verständnis und ausgeführten intentionalen Handlungen. Es scheint, als sei eine gewisse Sensitivität für Mittel-Ziel-Relationen bereits früher vorhanden als dies im Verhalten sichtbar wird. Die Situationskomplexität, motorische Anforderungen, sowie die kindliche Inhibitions- und Planungsfähigkeit könnten hierbei relevante Moderatoren sein, die sich auf alle Phasen des Problemlöseprozesses auswirken können.

Um verstehen zu können, was das Lösen bestimmter Probleme mit Hilfe von Werkzeugen beeinträchtigen oder fördern kann, ist es hilfreich, sich einzelne Phasen des Problemlöseprozesses genauer anzusehen. Im Fokus der vorliegenden Arbeit steht der Selektionsprozess eines Hilfsmittels. Somit kann der Einfluss motorischer Herausforderungen nahezu ausgeschlossen werden und kognitive Prozesse können in den Vordergrund rücken.

2.3. Funktionswissen

„*We do not perceive stimuli or retinal images or sensations or even just things; what we perceive are things that we can eat, or write with, or sit down on, or talk to.*“

-- Eleanor J. Gibson (1982)

Menschen scheinen besonders empfänglich für funktionale Informationen zu sein. Um möglichst effizient ein zielführendes Hilfsmittel auswählen zu können und nicht alle zur Verfügung stehenden Objekte zufällig ausprobieren zu müssen, ist es wichtig, funktionale Aspekte eines Objektes wahrzunehmen (Hernik & Csibra, 2009).

Möchte man beispielsweise ein Spielzeug in Reichweite ziehen, so sollte man nach einem Gegenstand suchen, dessen Endstück in der Lage ist, das Spielzeug zu umfassen. Darüber hinaus sollte das Hilfsmittel auch lang genug sein, das Spielzeug zu erreichen. Länge und Form sind hier also zwei relevante Merkmale, die bei der Wahl eines funktionalen Werkzeugs zu beachten sind. Doch wie entwickelt sich die Sensitivität für funktionale Objektmerkmale?

Trotz einer mittlerweile recht großen Anzahl an Studien zur Entwicklung von Funktionswissen fehlt eine übereinstimmende Definition des Konzeptes „Funktion“. Das Begriffsverständnis ist äußerst vielfältig und erschwert oftmals einen Vergleich vorhandener Studien (Oakes & Madole, 2010; Baumgartner & Oakes, 2011; Kingo & Krojgaard, 2012). „Funktion“ kann im Sinne einer *Intention* verstanden werden. Ein Objekt wird „für etwas“ genutzt oder eingesetzt, um etwas Bestimmtes zu erreichen. Ebenso kann es sich um eine charakteristische *Handlung* mit einem Objekt handeln oder im Sinne Gibsons (1979) die *Handlungskapazitäten* eines Objektes beschreiben, also die potentiell möglichen Handlungsoptionen. Zuletzt kann mit der ‚Funktion‘ eines Objektes auch die Wirkung, der mit ihm erzeugte *Effekt* gemeint sein. Unterschiedlichen Definitionen und Operationalisierungen des Konzeptes ‚Funktion‘ ist gemeinsam, dass Handlungen mit Objekten etwas Bestimmtes bewirken (Perone & Oakes, 2006).

Inwiefern bereits die frühkindliche Konzeptbildung von funktionalen Informationen geleitet wird, ist seit Jahrzehnten Gegenstand heißer Diskussionen.

2.3.1. Frühkindliche Konzeptbildung

Konzepte sind Abstraktionen unserer Erfahrungen und damit grundlegende Bausteine unseres Denkens (Carey, 2009; Margolis & Laurence, 2014) und wichtige Voraussetzung für

intentionale Handlungen. Auch wenn immer noch Uneinigkeit über die exakte Definition eines Konzeptes herrscht (Vertreter des Dynamic-Systems-Ansatzes bestreiten gar seine Existenz, siehe Smith, 2005), werden Konzepte vielfach als mentale Repräsentationen beschrieben (Representational Theory of the Mind, RTM, z.B. Fodor, 1998). Carey (2009) spricht von Konzepten als mentalen Repräsentationen, die von unmittelbaren sensorischen Erfahrungen losgelöst sind. Sie grenzt konzeptuelle mentale Repräsentationen somit von perzeptuellen mentalen Repräsentationen ab, die direkt mit konkreten Erfahrungen verbunden sind. Ein Konzept fasse die abstrahierten Erfahrungen, das Wesentliche mehrerer ähnlicher Ereignisse zusammen.

Dies macht die Abgrenzung zum Begriff der Kategorie schwierig. Häufig werden die Begriffe in der Literatur synonym gebraucht und Konzepte werden als Kategorien verstanden (z.B. „Concepts are categories“, Fodor, 1998, S.24). Im Folgenden soll eine Kategorie jedoch nicht gleichgesetzt werden mit einem Konzept. Eine Kategorie fasst Objekte oder Elemente zusammen, die als gleich angesehen werden (Rosch, Mervis, Gray, Johnson, & Boyes-Braem, 1976; Rosch, 1978). Dies kann auf der Ebene konzeptueller mentaler Repräsentationen geschehen (konzeptuelle Kategorisierung). Ähnliche Ereignisse und Erfahrungen mit Objekten können jedoch auch auf perzeptueller, sensorischer Ebene gruppiert werden (perzeptuelle Kategorisierung, z.B. Eimas & Quinn, 1994).

Konzeptbildung und Kategorisierung in der frühen Kindheit gehören zu den am heißesten diskutierten Themen der Entwicklungsforschung. Insbesondere die Debatte um eine Unterscheidung zwischen perzeptueller und konzeptueller Kategorisierung hat verschiedene theoretische Ansätze und eine Vielzahl an experimentellen Designs hervorgebracht (Eimas & Quinn, 1994; Madole & Oakes, 1999; Mandler, 2000, 2004a, 2004b; Murphy, 2004; Nelson, 1974, 2000, 2008; Pauen, 2002; Quinn & Eimas, 2000).

Ausgangspunkt bildeten grundlegende Arbeiten zur Konzeptbildung im Rahmen des Spracherwerbs von Nelson (1974, siehe auch Nelson, 2008). Nelson geht im Gegensatz zu Piaget davon aus, dass Kinder bereits vor Ende des zweiten Lebensjahres abstrakte konzeptuelle Repräsentationen der Welt entwickeln, welche die Basis für den Erwerb von Sprache bilden. Sie postuliert, dass diese Konzepte aus dem Wissen über Funktionen einzelner Objekte entstehen. Dies liege unter anderem darin begründet, dass dynamische Informationen (z.B. Bewegung, Geräusche, Sprache, soziale Interaktionen), die mit der Funktion eines Objektes einhergehen, mehr Aufmerksamkeit auf sich zögen (Nelson, 2008). Dynamische Funktionsrelationen eines Objektes werden laut Nelson in „Kernbedeutungen“ übersetzt, die im Folgenden durch genauere

Informationen über die einzelnen zum Konzept gehörenden Exemplare angereichert würden. Hierbei spielen letztlich auch perzeptuelle Aspekte eine wesentliche Rolle.

In einigen Studien wurde mittlerweile Evidenz für die frühe Sensitivität für konzeptuelle Informationen und deren Auswirkung auf die Verarbeitung und Gruppierung von Objekten gefunden. So zeigte sich in einer Studie von Pauen (2002), dass bereits 10 bis 11 Monate alte Kinder konzeptuelle Informationen, d.h. bereits vorhandenes Wissen über Objekte, für die Kategorisierung zu nutzen scheinen. Die Kinder erhielten in einer Objektexaminationsaufgabe (OET, Oakes, Madole, & Cohen, 1991) in acht aufeinander folgenden Durchgängen (Habituationsphase) Objekte einer Kategorie (Tiere oder Möbel). In den darauffolgenden beiden Testdurchgängen erhielten die Kinder ein neues Exemplar derselben Kategorie, sowie ein Objekt einer neuen Kategorie. Die verwendeten Stimuli wiesen in einer Bedingung eine sehr geringe perzeptuelle Zwischen-Kategorienähnlichkeit auf: Es handelte sich um naturgetreue Miniaturnachbildungen von Tieren und Möbeln. In einer zweiten Bedingung wurden jedoch stilisierte Tiere und Möbel verwendet, deren oberflächliche Zwischen-Kategorienähnlichkeit sehr hoch war. Die einzelnen Exemplare waren jedoch trotz ihrer hohen perzeptuellen Ähnlichkeit eindeutig ihrer konzeptuellen Kategorie zuzuordnen. Dies zeigte sich in einer Kontrollstudie mit Erwachsenen und Zweijährigen, die die Exemplare den Kategorien zuordnen mussten.

In beiden Bedingungen sank die Examinationszeit der einzelnen Exemplare einer Kategorie während der Habituationsphase deutlich, was als Rückgang der kindlichen Aufmerksamkeit interpretiert werden kann (siehe auch Elsner, Pauen, & Jeschonek, 2006). In der Testphase zog lediglich das Objekt der neuen, nicht aber das Exemplar der bereits bekannten Kategorie, einen Anstieg der kindlichen Aufmerksamkeit (Dishabituation) nach sich. Interessanterweise spielte die Zwischen-Kategorienähnlichkeit keine Rolle. In beiden Bedingungen erfolgte bei der Darbietung eines Exemplars einer neuen Kategorie ein Aufmerksamkeitsanstieg. Eine Gruppierung auf Basis perzeptueller Informationen alleine kann die Befunde nicht erklären. Die 10 bis 11 Monate alten Kinder schienen ihr Wissen über die dargebotenen Objekte für die Kategorisierung zu nutzen.

Diese Annahme wird auch durch die Ergebnisse einer Studie von Träuble, Babocsa und Pauen (2008) untermauert, bei der sich die Erfahrung mit den zu gruppierenden Objekten (Hunde und Katzen) auf die Diskriminierungsleistung der beiden Kategorien im Alter von 9 bis 11 Monaten auswirkte.

Darüber hinaus scheint eine kurze Demonstration der Funktion eines neuartigen Objektes auszureichen, um die Kategorisierung 11 bis 12 Monate alter Kinder zu beeinflussen (Träuble & Pauen, 2007, 2011). Kinder, denen die Funktion eines unbekanntes Artefaktes demonstriert

wurde, gruppierten dargebotene Objekte nicht nur nach deren globalen äußeren Erscheinung, sondern ebenso nach deren funktionalem Teilstück, welches ohne Demonstration jedoch missachtet und nicht zur Kategorisierung herangezogen wurde (siehe Abbildung 3).

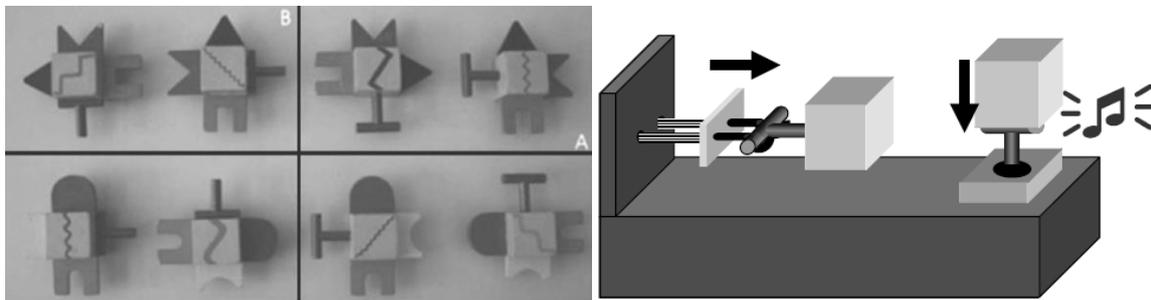


Abbildung 3. Verwendete Stimuli in der Studie von Träuble & Pauen (2007, 2011). Die Artefakte konnten sowohl anhand ihres globalen Erscheinungsbildes (linkes Bild: Dimension A, oben vs. unten) als auch nach Teilstückähnlichkeit (linkes Bild: Dimension B, T-Stück nach außen vs. T-Stück nach innen gewandt, d.h. links vs. rechts) gruppiert werden. Die Objekte unterschieden sich nicht nur in ihrer globalen Form, sondern auch hinsichtlich ihrer Farbe. Die eher eckigen Artefakte (oben) waren blau-grün gefärbt, die eher runden (unten) rot-gelb. Die Teilstücke unterschieden sich hinsichtlich ihrer Funktion. Das nach außen gerichtete T-Stück konnte in ein Loch gesteckt werden und erzeugte ein Klingelgeräusch, während das nach innen gerichtete T-Stück zwei Haken aus einer Kiste ziehen konnte (siehe rechtes Bild). Nachdruck aus Träuble & Pauen (2011) mit Genehmigung von John Wiley & Sons.

Auch in einer Studie von Horst, Oakes und Madole (2005) konnten bereits 10 Monate alte Säuglinge Informationen über die Objektfunktion für die Bildung einer Kategorie nutzen. Unter Anwendung der Visuellen Präferenzmethode (siehe Eimas & Quinn, 1994; Fagan, 1970)³ wurden Objekte mit gleicher Funktion, aber variierendem Äußeren sogar eher zu einer Kategorie zusammengefasst als gleich aussehende Objekte mit unterschiedlichen Funktionen. Die Autoren erklären sich dies – wie Nelson (2008) – durch eine höhere Salienz dynamischer Merkmale (siehe hierzu auch Slater, 1989). Gleichzeitig seien dynamische Informationen schwieriger zu

³ Bei dieser Methode handelt es sich wie bei der Objektexaminationsaufgabe (Oakes et al., 1991) um ein Habituations-Dishabituations-Paradigma, bei dem die Kinder durch mehrfache Darbietung unterschiedlicher Exemplare zunächst an eine Kategorie gewöhnt werden, ehe sie mit einem neuen Exemplar einer anderen Kategorie konfrontiert werden. Zeigen sie eine Aufmerksamkeitssteigerung, so wird davon ausgegangen, dass die Kategorien diskriminiert werden können (siehe Pauen & Träuble, 2006). Im Unterschied zur Objektexaminationsaufgabe werden zweidimensionale Objekte simultan präsentiert (für einen Methodenüberblick siehe Kavšek, 2000; Pahnke, 2007).

verarbeiten, da sie Handlungen über eine Zeit hinweg implizieren. Im Falle hoher Ähnlichkeit des Objektäußeren könnten die unterschiedlichen Funktionen der einzelnen Objekte daher zu viel Aufmerksamkeits- und Verarbeitungskapazität beanspruchen und eine Kategorisierung anhand der äußeren Erscheinung erschweren.

Es scheint jedoch auch Einschränkungen beim Nutzen konzeptueller Merkmale für die Kategorisierung im ersten Lebensjahr zu geben. In einer Objektexaminationsaufgabe wurden 10 Monate alte Kinder zunächst an neuartige Objekte gewöhnt, die eine bestimmte Funktion besaßen (eckige und abgerundete Spielzeuge, die entweder gerollt wurden oder beim Schütteln ein Geräusch erzeugten, siehe Abbildung 4, S. 38). In einer Testphase veränderte sich entweder die Form des dargebotenen Objektes oder seine Funktion (Madole, Oakes, & Cohen, 1993). 10 Monate alte Säuglinge bemerkten zwar Veränderungen der Objektform, nicht aber Änderungen der Objektfunktion. Die Aufmerksamkeit 14 Monate alter Kinder stieg hingegen sowohl bei Änderungen der Form als auch bei veränderter Objektfunktion.

Wie sich perzeptuelle und konzeptuelle Kategorisierung in der frühen Kindheit entwickeln und ob es sich dabei um getrennte Prozesse oder eine ineinander übergehende Entwicklung handelt, ist noch lange nicht umfassend geklärt.

Mandler (2000, 2004a) geht davon aus, dass es sich um zwei distinkte Prozesse und Verarbeitungssysteme handelt. Ein System sei für die perzeptuelle Kategorisierung, also die Zusammenfassung von Objekten nach äußerlichen Gemeinsamkeiten, zuständig. Es extrahiere die auffälligsten Gemeinsamkeiten und fasse sie zu einem Prototyp zusammen. Dies geschehe automatisch, ohne Intention des Beobachters und bedürfe keiner Aufmerksamkeit. Konzeptuelle Kategorisierung basiere auf der Extraktion von Bedeutung. Es sei ein bewusster, deklarativer Prozess, bei dem perzeptuelle Informationen in konzeptuelle Repräsentationen übersetzt würden. Hierbei komme der Erfahrung eine tragende Rolle zu. Mandler nimmt an, dass in Abhängigkeit der Erfahrung bereits sehr früh konzeptuell gruppiert werden kann, was zu den oben genannten Befunden passt (z.B. Pauen, 2002; Träuble et al., 2008).

Murphy (2004) kritisiert die strikte Trennung zwischen perzeptueller und konzeptueller Kategorisierung: „To distinguish perceptual concepts in the procedural system from ‘conceptual’ declarative concepts is to mischaracterize, in my view, the nature of the conceptual information” (S. 515). Auch wenn er übersieht, dass in Mandlers Modell (2004) konzeptuelle Kategorisierung auf der perzeptuellen Analyse von Objekten aufbaut (siehe Übersetzung von perzeptueller in konzeptuelle Information), spricht er mit der Trennung beider Prozesse doch einen Kritikpunkt an, den auch andere Autoren sehen (siehe auch Kingo, 2008).

Eine besonders radikale Sichtweise nehmen Vertreter des Dynamic-Systems-Ansatzes ein (Smith & Thelen, 2003; Smith, 2005; Thelen, 2000). Sie gehen davon aus, dass es keine Trennung zwischen perzeptueller und konzeptueller Kategorisierung geben kann, da Konzepte gar nicht wirklich existieren. Sie seien Konstrukte, die theoretisch helfen sollten, vermeintliche Stabilität im Verhalten zu erklären. In Realität gäbe es jedoch weder Konzepte, noch wirklich stabiles Verhalten (siehe Smith, 2005). Denken und somit auch Kategorisierung sei unmittelbar mit dem Kontext verwoben („Thought is an in-the-moment event tied to the here and now“, Smith, 2005, S. 279). Kognitionen entstehen nach dem Dynamic-Systems-Ansatz durch die Erfahrung mit der Umwelt. Verhalten wird in einem bestimmten Kontext in Abhängigkeit der eigenen Lern- und Erfahrungsgeschichte ausgelöst. Da sich die Umgebung wie auch die eigene Person durch jede Erfahrung verändern, könne Verhalten und somit auch die damit einhergehenden Kognitionen nicht stabil sein.

Doch es existieren auch gemäßigte Gegenentwürfe zu Mandlers „Dual-Systems“-Ansatz (2000). So nehmen beispielsweise Quinn und Eimas (2000) an, dass Kategorisierung immer perzeptuell sei (für empirische Befunde, die diese Hypothese bestätigen sollen siehe Eimas & Quinn, 1994). Der Unterschied zwischen konzeptuellen und perzeptuellen Kategorien liege einzig in der Reichhaltigkeit der gesammelten perzeptuellen Informationen. Die sensorischen Informationen über ein Objekt würden immer mehr angereichert (Quantitative Enrichment), so dass Kategorisierungsverhalten ab einem gewissen Punkt qualitativ unterschiedlich, konzeptuell im Gegensatz zu perzeptuell, wirken könne. Diesem vermeintlich qualitativen Unterschied läge jedoch ein quantitativer Veränderungsprozess zugrunde. Es handle sich also um ein Kontinuum von eher informationsarmer zu sehr reichhaltiger perzeptueller Kategorisierung.

Auch Madole und Oakes (1999) gehen davon aus, dass es nur *einen* Kategorisierungsprozess gibt. Sie betonen die Unterscheidung zwischen Inhalt und Prozess. Zu unterschiedlichen Zeitpunkten der Entwicklung und in unterschiedlichen Kontexten werde auf unterschiedliche Inhalte (d.h. perzeptuelle oder konzeptuelle Informationen) zurückgegriffen. Generell gehen die Autoren davon aus, dass beide Informationsarten – perzeptuelle und konzeptuelle – bereits seit dem Säuglingsalter für die Kategorisierung genutzt würden. Welche Informationsart in welchem Ausmaß für die Kategorisierung genutzt werde, sei erfahrungs- und kontextabhängig (siehe auch Horst et al., 2005), der dahinterstehende Prozess jedoch stets der gleiche. Auch eine strikte Trennung perzeptueller und konzeptueller Objekteigenschaften und -informationen sei nicht möglich. Ein Hund sehe beispielsweise aus wie ein Hund, rieche und klinge wie ein Hund und bewege und verhalte sich wie ein Hund. Diese einzelnen

Eigenschaften seien nicht klar voneinander oder von ihrem gemeinsamen „konzeptuellen Kern“ trennbar (Madole & Oakes, 1999, S. 270).

2.3.2. Zusammenhänge zwischen Aussehen und Funktion eines Objektes

Perzeptuelle und funktionale Eigenschaften eines Objektes sind keine unabhängigen Entitäten (siehe auch J. J. Gibson, 1979). Das Aussehen eines Objektes korreliert mit dessen Funktion (siehe auch Medin & Ortony, 1989). Die Form eines Objektendstückes (z.B. eines Regenschirms) hängt mit der Möglichkeit zusammen, mit diesem Objekt eine Handlung auszuführen und damit ein Ziel zu erreichen (z.B. die Fernbedienung unter dem Sofa hervorzuholen, die mit der Hand nicht zu erreichen ist). Das Erkennen dieses Zusammenhangs erlaubt die Vorhersage der Funktion eines Objektes einzig durch Wahrnehmung seines Äußeren. Ein Explorieren und Ausprobieren nach dem Versuch-und-Irrtum-Prinzip ist nicht weiter notwendig. Dies ist äußerst bedeutsam für die Effizienz der Wahl eines funktionalen Hilfsmittels.

Einige Studien weisen darauf hin, dass sich das Wahrnehmen von Zusammenhängen zwischen der Form und der Funktion eines Objekts, sogenannter Form-Funktions-Korrelationen, maßgeblich in den ersten beiden Lebensjahren entwickelt.



Abbildung 4. Die von Madole et al. (1993) genutzten Objekte. Links: rechteckiges Objekt, das rollt; Mitte: rundes Objekt, das geschüttelt ein Geräusch erzeugt; rechts: neues Testobjekt, das ein Geräusch erzeugt, wenn es um 180° gedreht wird. Nachdruck aus Madole et al. (1993) mit Genehmigung von Elsevier.

Madole, Oakes und Cohen (1993) untersuchten die Sensitivität gegenüber Form-Funktions-Korrelationen im Alter von 10, 14 und 18 Monaten. Sie versuchten, die Dimensionen Form und Funktion weitestgehend unabhängig voneinander zu halten, um sie einzeln variieren zu können. Die Kinder wurden in einer Objektexaminationsaufgabe zunächst an zwei unterschiedliche Objekte gewöhnt. Diese variierten in Form und Funktion. Eine spezifische Form war jedoch stets mit einer bestimmten Funktion gekoppelt. So rollte beispielsweise ein Spielzeug mit eher rechteckigem Körper (siehe Abbildung 4, links) stets, während ein eher rundes Objekt (siehe Abbildung 4, Mitte) geschüttelt wurde und dabei ein Geräusch erzeugte. In der Testphase wurde den Kindern zunächst ein neues Objekt mit der gleichen Form-Funktions-Korrelation präsentiert. Anschließend erhielten sie ein Spielzeug, bei dem der bekannte Zusammenhang verletzt war (z.B. erzeugte ein eher rechteckiges Objekt nun ein Geräusch, wenn es geschüttelt wurde oder ein eher rundes Objekt wurde gerollt), ehe sie ein völlig neues Objekt sahen, das sich sowohl in seiner Form als auch in seiner Funktion von den zuvor gesehenen Objekten unterschied (ein zylinderförmiges Objekt erzeugte ein „Muh“-Geräusch, wenn es um 180° gedreht wurde, siehe Abbildung 4, rechts).

Die Aufmerksamkeit der 10 und 14 Monate alten Kinder erhöhte sich nur, wenn sie ein völlig neues Testobjekt sahen, Verletzungen der Zusammenhänge schienen sie nicht zu bemerken. Im Gegensatz dazu zeigten 18 Monate alte Kinder auch bei einer Verletzung der Form-Funktions-Korrelation längere Blickzeiten. Wurden die Kinder nur an eines der beiden Objekte gewöhnt, stieg die Aufmerksamkeit bei der Präsentation eines Objektes mit veränderter Form bereits bei 10 Monate alten Kindern, nicht jedoch bei veränderter Funktion. Im Alter von 14 Monaten wurden auch Veränderungen der Funktion bemerkt.

Die Autoren vermuten, dass sich die Aufmerksamkeit für Form-Funktionszusammenhängen später entwickle als das Wahrnehmen der Veränderungen in nur einer Dimension (d.h. Form oder Funktion). Gestützt wird diese Annahme auch durch Entwicklungsverläufe in anderen Entwicklungsbereichen. Der Trend, zuerst einzelne Objektmerkmale wahrzunehmen und erst später deren Relationen zueinander zu enkodieren, zeigt sich beispielsweise auch bei der Wahrnehmung statischer Objekte (z.B. Younger & Cohen, 1983, 1986).

Madole et al. (1993) merken jedoch an, dass lediglich zwei spezifische Funktionen genutzt wurden (Rollen und Geräuscherzeugung) und somit keine allgemeinen Aussagen über den genauen Zeitpunkt des Wahrnehmens von Funktionsveränderungen gemacht werden können. Es sei durchaus denkbar, dass Veränderungen hinsichtlich anderer Funktionen bereits früher wahrgenommen würden. Die Entwicklungsreihenfolge von der Wahrnehmung einzelner

Objekteigenschaften hin zur Integration dieser und zur Wahrnehmung von Relationen zwischen Objekteigenschaften auch bei der Untersuchung weiterer Funktionen bleibe jedoch dieselbe.

Die spezifischen Charakteristiken der verwendeten Funktion scheinen tatsächlich einen großen Einfluss auf die Wahrnehmung von Funktionsveränderungen und Form-Funktions-Korrelationen zu haben. Handelt es sich um Form-Funktionsveränderungen der gleichen Modalität, scheinen bereits 10 Monate alte Kinder neben Veränderungen der Objektfunktionen auch Zusammenhänge zwischen Funktionsmerkmalen und dem Aussehen eines Objektes zu bemerken (Perone & Oakes, 2006). So konnte beispielsweise ein Zusammenhang zwischen dem Aussehen eines Objektes und einer spezifischen visuell wahrnehmbaren Handlung erkannt werden (z.B. gelbes Objekt wird stets gerollt), nicht jedoch Zusammenhänge zwischen dem Objektäußeren und dessen Effekt auf eine andere Modalität (z.B. gelbes Objekt erzeugt stets Pfeifgeräusch).

In einer Studie von Baumgartner und Oakes (2011) konnten 12 Monate alte Kinder schließlich auch intermodale Form-Funktions-Korrelationen erkennen. Die Entwicklung der Informationsverarbeitungskapazität (siehe auch Halford, Wilson, & Phillips, 1998; Thibaut & French, 2008) könnte dafür verantwortlich sein, dass mit zunehmendem Alter immer mehr Relationen unterschiedlicher Qualitäten verarbeitet werden (Baumgartner & Oakes, 2011).

Neben der Modalität der Funktionseigenschaften spielen jedoch offenbar noch weitere Charakteristiken der Form-Funktions-Korrelationen eine entscheidende Rolle. In den genannten Studien war die Funktion eines Objektes stets mit dem gesamten Objekt verknüpft, wohingegen in der realen Welt einzelne Objektteile wichtig für die Ausführung einer spezifischen Funktion sind (Madole & Cohen, 1995; Träuble & Pauen, 2007). Die Objektteile weisen folglich auf eine Verknüpfung zwischen Objektäußerem und Funktionsmerkmalen hin. Sie bilden damit eine Brücke zwischen perzeptuellen und funktionalen Informationen (Tversky & Hemenway, 1984). Säuglinge erkennen Form-Funktionsrelationen früher, wenn lediglich ein spezifisches Objektteil und nicht das gesamte Objekt mit der Funktion verknüpft ist (Booth & Waxman, 2002; Madole & Cohen, 1995).

Ein weiterer entscheidender Punkt scheint auch die Plausibilität der Form-Funktions-Relation zu sein. Bei den zuvor beschriebenen Studien handelte es sich stets um arbiträre, assoziative Verknüpfungen zwischen der Form und der Funktion eines Objektes oder eines Objektteils. Eine sinnvolle, kausale Erklärung für den Zusammenhang beider Objekteigenschaften gab es nicht. Träuble und Pauen (2007, 2011) merken an, dass solch willkürliche Zusammenhänge möglicherweise zu einer Unterschätzung der Fähigkeit zur Erkennung von Form-Funktions-Korrelationen führten können. Sinnvolle Verknüpfungen

zwischen Form und Funktion eines Objektes seien wesentlich einfacher zu verstehen. Aus der Erwachsenenforschung sei bereits bekannt, dass Zusammenhänge zwischen Objekteigenschaften eher bemerkt würden, wenn es sich um Zusammenhänge kausaler Natur handle und sie somit im Einklang mit dem bisherigem Wissen der Probanden stünden (Murphy et al., 1985).

In ihrer Studie nutzten Träuble und Pauen (2007) daher kausale Relationen zwischen dem Teilstück eines Objektes und dessen Funktion (siehe Abbildung 3, S. 35). 11 bis 12 Monate alte Kinder erhielten neuartige Artefakte, die sich hinsichtlich ihrer Gesamtähnlichkeit (entweder eher rundlich und rot oder eher eckig und blau), sowie hinsichtlich der Ähnlichkeit eines wenig salienten Teilstückes (ein nach innen oder außen gerichtetes T-Stück) gruppieren ließen. Zunächst wurde die spontane Kategorisierung der Artefakte untersucht. Die Kinder gruppieren die neuartigen Artefakte spontan nach ihrer Gesamtähnlichkeit, nicht nach deren Teilstück. Erfolgte jedoch eine Demonstration der spezifischen Teilstückfunktion (nach innen gerichtetes T-Stück: zwei Haken können aus einer Apparatur gezogen werden; nach außen gerichtetes T-Stück: das stiftartige Ende kann in eine Kiste gesteckt werden und erzeugt ein belohnendes Geräusch), so konnten die Artefakte im Anschluss sowohl nach Gesamtähnlichkeit als auch nach Teilstückähnlichkeit gruppiert werden. Die Kinder schienen also den Zusammenhang zwischen Teilstückform und Funktion wahrgenommen und diese Information für die Kategorisierung der Objekte genutzt zu haben. Die Ergebnisse konnten mittlerweile auch mit 7 Monate alten Kindern repliziert werden (B. Träuble, persönliche Kommunikation, Oktober 2011).

Dass die kausale Relation für das Wahrnehmen des Form-Funktions-Zusammenhangs wichtig ist (zumindest im Alter von 11 bis 12 Monaten), legt eine Folgestudie (Träuble & Pauen, 2011) nahe. Wurde ein kausal unmöglicher, aber dennoch salienter Effekt dargeboten (siehe Abbildung 5), erfolgte keine Kategorisierung nach funktionalem Teilstück. Darüber hinaus kam es auch bei Ausbleiben des salienten Effekts, alleine durch die Herstellung der Kausalrelation zu einer Kategorisierung nach Gesamt- sowie Teilstückähnlichkeit (B. Träuble, persönliche Kommunikation, Oktober 2011).

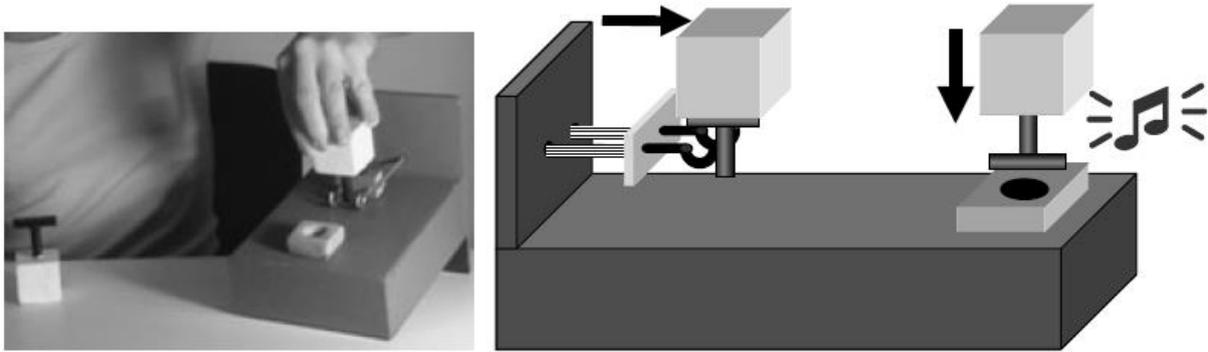


Abbildung 5. Kausal unplausible Funktionsdemonstration in der Studie von Träuble & Pauen (2011). Das nach innen gerichtete T-Stück lässt ein Geräusch ertönen, obwohl es keinen Kontakt mit dem Inneren der Kiste hat. Das nach außen gerichtete T-Stück kann die Haken bewegen ohne dass es Kontakt mit diesen herstellt. Nachdruck aus Träuble & Pauen (2011) mit Genehmigung von John Wiley & Sons.

2.3.3. Zusammenfassung und Bedeutung für die vorliegende Studienreihe

Die menschliche Informationsverarbeitung und Konzeptbildung basiert bereits im Säuglingsalter nicht nur auf perzeptuellen Informationen. Auch Funktionsinformationen werden bereits berücksichtigt. Hierfür scheint es bedeutsam zu sein, dass die funktionalen Informationen auch kausal sinnvoll sind. Ist dies der Fall, können auch Zusammenhänge zwischen dem Aussehen eines Objektes und dessen Funktion bereits gegen Ende des ersten Lebensjahres wahrgenommen werden. Die Wahrnehmung dieser Form-Funktions-Korrelationen ist äußerst nützlich für die Auswahl von Hilfsmitteln. Kann die Funktionalität eines Werkzeuges alleine anhand dessen Äußeren vorhergesagt werden, so ist dies äußerst ökonomisch und ermöglicht die schnelle Wahl eines adäquaten Werkzeuges.

Auch in der vorliegenden Studie spielen Zusammenhänge zwischen dem Aussehen und der Wirkung eines Objektes eine wichtige Rolle. Es wurde untersucht, inwiefern diese Korrelationen im Kleinkindalter erkannt und genutzt werden. Hierbei wurden gleichzeitig kausal relevante sowie arbiträre Zusammenhänge zwischen dem Aussehen eines Objektes und seiner Funktion eingesetzt und untersucht, inwiefern sie die kindliche Hilfsmittelwahl und Problemlösung fördern wie hindern können.

2.4. Kausalwissen

„Nichts geschieht von ungefähr, sondern alles aus einem notwendigen Grunde (ouden chrêma matên gignetai, alla tanta ek logou te kai hyp' anankês)“

-- Demokrit, Stob. Ecl. I, 4, 160 (zit. nach Eisler, 1904)

Bereits in der Antike beschäftigten sich Philosophen mit dem Prinzip der Kausalität und seiner Bedeutung für den Menschen. Demokrit äußerte als einer der ersten Vorsokratiker die Idee, dass durch gewisse Ereignisse (Ursachen) andere, zeitlich nachfolgende Ereignisse (Wirkungen) hervorgebracht werden können (Büttner, 2009).

Das Denken in Ursache-Wirkungs-Beziehungen scheint tief im Menschen verankert zu sein. Die Wahrnehmung von Kausalität muss hierbei nicht auf deren tatsächlicher Existenz beruhen. David Hume ging davon aus, dass wir durch wiederholte Erfahrung nacheinander auftretender Ereignisse eine Verknüpfung zwischen diesen erstellen und daraufhin für ähnliche Ereignisse ähnliche Folgen erwarten. Es müsse sich also nicht notwendigerweise um eine tatsächliche kausale Relation handeln, die gewohnheitsmäßige zeitlich aufeinanderfolgende und räumliche Verknüpfung zweier Ereignisse reiche völlig aus (Hume, 1748/2007).

Eine Abbildung der Realität allein durch kausale Zusammenhänge (und seien sie auch noch so komplex, z.B. durch mehrere Ursachen) greift deutlich zu kurz. Kausalität als ausschließliches Erklärungsprinzip ist – insbesondere im Bereich sozialer Prozesse – unzureichend (von Schlippe & Schweitzer, 2007). Die Frage nach Ursache und Wirkung kann bis ins Unendliche verfolgt werden. Was verursacht die Ursache? Mittlerweile scheint sogar Einigkeit darüber zu herrschen, dass selbst unser Gehirn, also jenes Organ, das uns das Denken in Ursache-Wirkungs-Gefügen ermöglicht, nicht kausal aufgebaut zu sein scheint. Vielmehr scheint es sich um ein nicht-lineares, sich selbst organisierendes System zu handeln (Schiepek, 2009; Singer, 2009, 2013).

Dennoch kann kausales Denken als sinnvolle, komplexitätsreduzierende Verstehensstruktur gesehen werden (Büttner, 2009; von Schlippe & Schweitzer, 2007). Als Ergebnis der Evolution scheint diese Denkweise für das Überleben wertvoll zu sein (Thüring, 1991) und zumindest mit einem Teil der Realität übereinzustimmen, so dass ein kausales Verständnis alltäglicher Ereignisse die Welt in gewissem Maße vorhersehbar und beeinflussbar macht. Es können Hypothesen gebildet, Ereignisse antizipiert werden. Dies bildet eine optimale Grundlage für planungsvolles Handeln und effizientes Problemlösen.

Anders als die Philosophie hat sich die Psychologie erst Mitte des letzten Jahrhunderts zunehmend mit dem Thema Kausalität auseinandergesetzt (für einen Überblick über

philosophisch Ansätze zur Kausalität siehe White, 1990). Im Unterschied zur Philosophie geht es in der empirischen psychologischen Forschung nicht darum, ob Kausalität tatsächlich existiert oder inwiefern dieses Denkprinzip die Realität abbilden kann, da sich diese Fragen einer empirischen Testung entziehen. Zentral sind vielmehr die menschliche Interpretation der Realität, die Wahrnehmung von Kausalität und die Auswirkungen dieser Denkweise auf das menschliche Handeln (Träuble, 2004). Unter welchen Umständen werden kausale Strukturen wahrgenommen? Hilft das Wissen über kausale Zusammenhänge tatsächlich beim Lösen von Problemen? Wie entwickelt sich diese Art zu denken? Wenn es sich um einen evolutionär sinnvollen Mechanismus handelt, ist dieser dann bereits „angeboren“ und wird zunehmend differenzierter oder wird kausales Denken durch wiederholte Erfahrung sich anscheinend gegenseitig bedingender Ereignisse erst im Laufe der Entwicklung erlernt?

2.4.1. Wahrnehmung einfacher Kausalereignisse im ersten Lebensjahr

Als einer der Ersten erforschte Michotte in den 1940er-Jahren die menschliche Wahrnehmung mechanischer Kausalität (Gavin, 1972; Michotte, 1982). Er nutzte hierzu einen Wandschirm mit einem Schlitz, durch welchen zwei Farbpunkte zu sehen waren. Punkt A bewegte sich von links nach rechts auf Punkt B zu und kollidierte mit diesem. Es gab hierbei unterschiedliche Szenarien: Bei sogenannten „Launching“-Illusionen bewegte sich Punkt A auf Punkt B zu und kam zum Stillstand, während Punkt B anschließend begann, sich zu bewegen. Bei „Entraining“-Effekten bewegte sich Punkt A auf Punkt B zu. Anschließend bewegten sich beide in gleicher Richtung weiter. Die erwachsenen Versuchspersonen gaben bei den Launching-Situationen an, dass sich Punkt A Punkt B näherte, diesen anstoße und in Bewegung versetze. Bei Entraining-Effekten äußerten die Probanden, dass Punkt A Punkt B „mitnehme“ (um die Illusion selbst auszuprobieren siehe Dulisch, 2014).

Zu diesen kausalen Interpretationen (Punkt A als Ursache der Bewegung von Punkt B; Punkt A = Agent, Punkt B = Rezipient) kam es jedoch lediglich unter bestimmten raumzeitlichen Bedingungen. So durfte der zeitliche Abstand zwischen der Kollision beider Farbpunkte und dem Start der Bewegung von Punkt B nicht zu groß sein. Auch beeinflusste die Geschwindigkeit beider Punkte die Wahrnehmung der kausalen Illusion. Michotte folgerte aus diesen Kollisionsexperimenten, dass bestimmte Objektkonfigurationen automatisch als kausal wahrgenommen würden (Gavin, 1972).

In den siebziger Jahren wurden Kollisionsereignisse im Sinne Michottes erstmals Säuglingen und Kleinkindern präsentiert (Ball, 1973). Kinder einer sehr großen Altersspanne (2

bis 30 Monate) sahen ein Objekt, das hinter einem Wandschirm verschwand. Auf der anderen Seite erschien daraufhin ein zweites, andersfarbiges Objekt. Nach der Gewöhnung an das Ereignis (Habituationsphase) wurde der Wandschirm entfernt und die Kinder sahen entweder, dass das erste Objekt mit dem zweiten kollidierte, woraufhin dieses sich zu bewegen begann, oder sie sahen, dass sich die beiden Objekte nicht berührten, sich das zweite jedoch im Anschluss an die Bewegung des ersten ebenfalls in die gleiche Richtung in Bewegung setzte. Hatten die beiden Objekte keinen Kontakt, so blickten Kinder allen Alters länger auf das Geschehen als im Falle einer Kollision der beiden Objekte. Ball interpretierte dies als Beleg dafür, dass die Wahrnehmung kausaler Relationen angeboren sei. Eine starke Interpretation, insbesondere in Anbetracht der Tatsache, dass die Kinder keine Habituation zeigten und die eher kleine Stichprobe eine beträchtliche Altersspanne umfasste (siehe auch Cohen, Amsel, Redford, & Casasola, 1998).

Auch White (1988, 1990) davon aus, dass bereits sehr früh eine automatische Wahrnehmung von Kausalität möglich sei. Er nimmt jedoch an, dass sich diese im Laufe des Lebens noch entscheidend weiterentwickle und bewusster und somit kontrollierter werde. Viele Studien konnten mittlerweile eine frühe Sensitivität für das Kontaktprinzip im ersten Lebensjahr bestätigen, die mit dem Alter jedoch Veränderungen aufweist (z.B. Cohen & Oakes, 1993; Kotovsky & Baillargeon, 2000; Leslie & Keeble, 1987; Leslie, 1982; Oakes & Cohen, 1990).

Dieses Prinzip findet sich auch im sogenannten „Kernwissensansatz“ wieder, der davon ausgeht, dass ein gewisses Verständnis von Grundprinzipien unterschiedlicher Wissensbereiche bereits von Geburt an vorhanden ist. Als erste postulierten Susan Carey und Elizabeth Spelke (1994, 1996) eine solche Hypothese (siehe auch Spelke & Kinzler, 2007; Spelke, 2000). Sie unterschieden zunächst zwei große Kernwissensbereiche – intuitive Physik und intuitive Psychologie (siehe auch Carey, 2009; Pauen, 2006; Spelke, Phillips, & Woodward, 1995). Mittlerweile wurden die Kernwissensbereiche weiter differenziert und umfassen nun Wissen über Objekte, Handlungen, Zahlen, Orte oder Geometrie sowie soziale Interaktionen. Das bereits bei Geburt vorhandene Kernwissen in diesen Bereichen, also auch das Wissen über kausale Relationen, werde im Laufe der Entwicklung durch Erfahrung angereichert und differenziert (Spelke & Kinzler, 2007).

Bereits die Arbeiten von Leslie (1984) weisen in eine ähnliche Richtung. Er greift die Annahme einer automatischen Kausalwahrnehmung nach Michotte und White auf und geht ebenfalls davon aus, dass es sich dabei um eine kognitive Kernkompetenz handle, die von Geburt an vorhanden sei. Er spricht von einem Kausalitätsmodul, welches Ereignisse automatisch hinsichtlich Kausalität analysiere (Träuble, 2004). Säuglingen sei es durch das angeborene

Kausalitätsmodul möglich, zwischen kausalen und nicht-kausalen Ereignissen zu unterscheiden. Die perzeptuelle Unterschiedlichkeit hinsichtlich raum-zeitlicher Eigenschaften sei hierbei von nur geringer Bedeutung.

Eine Studie mit 6½ Monate alten Kindern (Leslie, 1984) zeigte, dass der stärkste raum-zeitliche Kontrast nicht die stärkste Dishabituationsreaktion hervorrief und somit eine Interpretation der Ereignisunterscheidung allein auf Basis raum-zeitlicher Merkmale unzureichend war. Allerdings wurde – entgegen der Annahme Leslies – auch zwischen den nicht-kausalen Ereignissen differenziert. Es gab also Hinweise auf beides, eine Verarbeitung anhand unabhängiger raum-zeitlicher Eigenschaften der Ereignisse (perzeptuelle Verarbeitung), sowie eine Differenzierung hinsichtlich Kausalität (konzeptuelle Verarbeitung mittels Kausalitätsmodul).

Cohen und Amsel (1997, zit. nach Cohen et al., 1998) replizierten diese Ergebnisse mit 6¼ Monate alten Kindern und testeten darüber hinaus auch 4, 5½ und 7 Monate alte Säuglinge. Es zeigte sich ein Entwicklungsmuster vom vorrangigen Einbezug unabhängiger raum-zeitlicher Merkmale hin zu einer zunehmend kausalen Wahrnehmung. Mit 7 Monaten schließlich wurden die Ereignisse vornehmlich anhand der Kausalität unterschieden (siehe auch Cohen et al., 1998).

Oakes und Cohen (1990) setzten sich kritisch mit der Annahme einer automatischen Wahrnehmung von Kausalrelationen auseinander. Anknüpfend an Leslie (1984) testeten sie 6 und 10 Monate alte Kinder. Sie nutzten hierfür jedoch reale, komplexere Objekte. Im Gegensatz zu vorherigen Befunden (Leslie & Keeble, 1987; Leslie, 1984) schienen nur die 10 Monate alten, nicht jedoch die 6 Monate alten Säuglinge auf Veränderungen der Kausalität der Ereignisse zu reagieren. Die jüngeren Säuglinge bemerkten zwar deutliche physische Veränderungen (gänzlich neue Objekte), reagierten jedoch nicht auf subtile Veränderungen des Timing oder Kontaktes.

Diese Ergebnisse und ähnliche Befunde in weiteren Studien (siehe Cohen & Oakes, 1993) sprechen nach Meinung der Autoren gegen ein angeborenes, automatisches Kausalitätsmodul und könnten besser im Rahmen des Informationsverarbeitungsansatzes erklärt werden. Dieser geht von einer Entwicklung von einer eher individuellen, objektbezogenen Verarbeitung hin zur Integration von Informationen über die Beziehung zwischen Objekten aus, worunter auch kausale Beziehungen fallen (siehe auch Halford et al., 1998). Diese Annahme passt auch zu Befunden aus anderen Entwicklungsbereichen, die ebenfalls einen solchen allgemeinen, domänenübergreifenden Entwicklungstrend nahelegen (siehe Kapitel 2.3.2., S. 38).

Dass neben allgemeinen Entwicklungstrends der Informationsverarbeitung jedoch auch domänenspezifische Entwicklungen relevant sind, zeigt sich erneut in der Rolle eigener Erfahrung. Auch bei der Entwicklung der Wahrnehmung einfacher kausaler Zusammenhänge

scheint die eigene Erfahrung mit kausalen Ereignissen die Wahrnehmung zu beeinflussen. So waren bereits 4½ Monate alte Säuglinge in der Lage, zwischen kausalen und nicht-kausalen Ereignissen (Kontakt vs. kein Kontakt) zu differenzieren. Dies gelang ihnen jedoch nur dann, wenn sie zuvor mit Hilfe von Kletthandschuhen Erfahrung mit Kugeln sammeln konnten, die an ihren Handschuhen kleben blieben. Waren die Handschuhe nicht mit Klett versehen, so dass keine Kugel bei Berührung hängen blieb, zeigten die Kinder auch keine Differenzierung zwischen kausal sinnvollen und kausal sinnfreien Displays (Rakison & Krogh, 2012).

Im ersten Lebensjahr entwickeln sich also bereits grundlegende Fähigkeiten des Kausalverständnisses. Einfache kausale Ereignisse mit simplen Objekten werden, in Abhängigkeit der eigenen Erfahrung mit dem jeweiligen Ereignis, ab 4½ bis 6 Monaten als solche erkannt und von nicht-kausalen Ereignissen unterschieden. Neben der eigenen Erfahrung, dem eigenen Wissensstand, beeinflusst jedoch auch die Komplexität der Objekte die Kausalwahrnehmung, so dass bei komplexeren Objekten erst ab 10 Monaten das Erkennen kausaler Zusammenhänge möglich zu sein scheint. Dies passt zur Annahme, dass Entwicklungen hinsichtlich der Informationsverarbeitungskapazität das Verarbeiten immer komplexerer kausaler Stimuli ermöglicht.

2.4.2. Wahrnehmung kausaler Ketten

Bislang war lediglich von einfachen Kausalereignissen die Rede. Im realen Leben begegnen wir allerdings deutlich komplexeren kausalen Zusammenhängen. So beeinflussen häufig mehrere Faktoren einen Effekt und dieser kann wiederum Ursache für einen oder mehrere weitere Effekte sein. Nicht immer ist es einfach auszumachen, welcher von vielen Handlungsschritten die eigentliche Ursache für ein Handlungsergebnis darstellt und somit am bedeutsamsten ist. Für das effiziente Lösen eines Problems, insbesondere unter dem Einsatz von Werkzeugen, ist es jedoch wichtig, zu wissen, welche Handlungsschritte besonders relevant sind und bei welchen es sich um zu vernachlässigende Faktoren handelt.

Die Erforschung der Wahrnehmung komplexerer kausaler Ereignisse stellt somit den logischen nächsten Schritt dar. Cohen, Rundell, Spellman und Cashon (1999) untersuchten die Wahrnehmung kausaler Ketten, in denen mehrere Ereignisse aufeinander folgen, im Alter von 10 und 15 Monaten. Die Kinder sahen in einer Habituationsphase Videos eines mehrschrittigen Ereignisses, bei dem sich zunächst ein Spielzeugfahrzeug auf ein zweites Spielzeugfahrzeug zubewegte und mit diesem kollidierte. Das zweite Fahrzeug bewegte sich anschließend auf ein Haus zu und berührte dieses. Daraufhin schnellte ein Hundegesicht aus dem Schornstein des

Hauses. In einer Versuchsbedingung setzte sich das zweite Fahrzeug unmittelbar nach der Kollision mit dem ersten in Bewegung (Direct Launching). In einer zweiten Bedingung gab es eine kurze Pause zwischen dem Kontakt der beiden Fahrzeuge und der Bewegungsinitiation des zweiten Fahrzeuges (Delayed Launching), so dass es sich um zwei kausal unabhängige Handlungsschritte handelte. In der darauf folgenden Testphase sahen die Kinder zwei neue Versionen des gleichen Ereignisses. Bei der ersten neuen Version wurde das erste Fahrzeug gegen ein neues Fahrzeug ausgetauscht, bei der zweiten Version das zweite.

Die Dishabituationsreaktionen der 15 Monate alten Kinder unterschieden sich in Abhängigkeit der Bedingung: Hatten die Kinder während der Habituationsphase eine kausale Verknüpfung zwischen dem ersten und zweiten Fahrzeug gesehen, so zeigten sie eine stärkere Dishabituation in Reaktion auf den Austausch des ersten Fahrzeuges (des kausalen Verursachers oder „Agenten“) im Vergleich zum Austausch des zweiten (des Mittels). Waren die Kinder hingegen daran gewöhnt worden, dass es keine kausale Verknüpfung zwischen den beiden Fahrzeugen gab, so blickten sie deutlich länger beim Austausch des zweiten Fahrzeuges (in diesem Fall der kausale Agent) im Vergleich zum ersten. Die Kinder schienen also den Effekten unterschiedliche Urheberschaften zuzuschreiben in Abhängigkeit der gezeigten kausalen Verknüpfung. Auch Erwachsene schrieben in einer Situation, in der sie die einzelnen Schritte hinsichtlich ihrer kausalen Bedeutung bewerten sollten, in der Direct-Launching-Bedingung dem ersten Fahrzeug mehr Wirkung zu als in der Delayed-Launching-Bedingung. Hier wurde dem zweiten Objekt mehr kausale Bedeutung zugeschrieben. Interessanterweise war dieses Muster im Alter von 10 Monaten noch nicht erkennbar. Hier zeigten die Kinder in allen Bedingungen eine stärkere Dishabituationsreaktion, wenn das erste Objekt ausgetauscht wurde. Möglicherweise ist die Verarbeitung dieser kausalen Sequenz für sie noch zu komplex.

Die Ergebnisse weisen auf die frühe Kompetenz hin, kausal relevante Aspekte einer Ereigniskette wahrzunehmen. Neuere Befunde von Träuble, Scheel, Steinmayr und Dullstein (submitted) weisen in die gleiche Richtung und gehen sogar über eine reine Wahrnehmung hinaus (siehe auch Scheel & Träuble, 2013; Träuble & AlJanabi, 2012). 15 Monate alte Kinder zeigten hier unterschiedliches kausales Verhalten in Abhängigkeit der zugrundeliegenden Kausalstruktur. Sie schienen bereits erlerntes Kausalwissen und eigene Handlungen zur Erreichen des gleichen Kausaleffektes zu integrieren.

Alle Kinder erhielten zunächst eine Trainingsphase, in der sie lernten, dass sie durch das Drücken einer Taste eine Lampe anschalten können. Zunächst wurde ihnen dies durch den Versuchsleiter zweimalig demonstriert, ehe sie zehnmal die Lampe selbst anschalten durften. Im Anschluss daran wurde die Taste entfernt und es folgte eine Beobachtungsphase. Die Kinder

wurden hier entweder der sogenannten Causal-Chain-Bedingung oder der Common-Cause-Bedingung zugewiesen. In der Causal-Chain-Bedingung sahen sie mehrmals hintereinander wie zuerst die Lampe, die sie während der Trainingsphase per Tastendruck angeschaltet hatten, leuchtete und daraufhin eine zweite, neue Lampe erhellt wurde. In der Common-Cause-Bedingung hingegen leuchtete zuerst stets die neue, zweite Lampe, ehe die erste Lampe angeschaltet wurde. Anschließend wurde in beiden Bedingungen die erste Lampe, die per Tastendruck beeinflussbar war, verdeckt und eine weitere, dritte Lampe wurde neben der zweiten Lampe aufgedeckt. Diese war äußerlich besonders attraktiv, warf Lichter an die Decke, drehte sich und wurde zusätzlich von der Mutter mit bewundernden Kommentaren versehen. Die Kinder sahen nun mehrmals, dass zunächst die zweite und schließlich die dritte Lampe leuchtete.

Im Anschluss daran wurde die zweite Lampe erneut verdeckt und die erste Lampe wurde wieder aufgedeckt. Die Kinder erhielten zudem noch einmal die Taste, mit der sie zu Beginn die erste Lampe anschalten konnten. Die Autoren nahmen an, dass die Kinder in der Causal-Chain-Bedingung, in der die erste Lampe Ursprung der kausalen Kette war, häufiger die Taste drücken sollten, mit der die dritte, attraktivste Lampe angeschaltet werden konnte, als die Kinder in der Common-Cause-Bedingung, in welcher die erste Lampe keinen Einfluss auf die dritte Lampe hatte. Genau dieses Muster zeigte sich und deutete darauf hin, dass die Kinder in der Lage waren, die Kausalstruktur nicht nur wahrzunehmen, sondern dieses Wissen auch in die eigenen Handlungen einfließen zu lassen.

Dies steht den Ergebnissen der Studien von Bonawitz et al. (2010) entgegen, in denen zweijährige Kleinkinder erst dann selbst kausal agierten, wenn eine Demonstration durch einen menschlichen Agenten initiiert wurden (siehe auch Meltzoff, Waismeyer, & Gopnik, 2012), wenn es sich bei den Ereignissen um direkte physikalische Kontakttereignisse handelte, oder wenn der Versuchsleiter kausale Sprache nutzte. Die Autoren weisen darauf hin, dass trotz vorhandener Wahrnehmung der Kausalrelation der Transfer auf die eigene Handlung im Kleinkindalter offenbar noch schwierig sei (Replikation und Erweiterung der Studie siehe Muentener, Friel, & Schulz, 2012). Die strukturelle Gleichheit der Situationen (Beobachtung einer Handlung und eigene Handlungsausführung) werde möglicherweise erst durch Hilfestellung (z.B. durch sprachliche Verdeutlichung der Situationsgleichheit) erkannt. Das Fokussieren relevanter Gemeinsamkeiten zweier Situationen und das Absehen von konkreten irrelevanten äußeren Unterschieden scheint in der Tat in gewissen Kontexten bis ins Vorschulalter eine Herausforderung darzustellen (siehe Kapitel 2.6.4., S. 69).

Dass bei Träuble et al. (submitted) Hilfestellungen nicht nötig waren und es sogar bei deutlich jüngeren Kleinkindern zum Übertragen der gelernten Kausalrelation auf die eigenen

Handlungen kam, könnte daran liegen, dass die Kinder zu Beginn eigene Erfahrung als kausaler Agent sammeln konnten (siehe auch Scheel & Träuble, 2013; Rakison & Krogh, 2012).

2.4.3. Kausale Wahrnehmung und Kausalverständnis im Kleinkindalter

Im Alltag treffen wir immer wieder auch auf neue, uns bislang unbekannte kausale Zusammenhänge. Zwar scheinen gewisse kausale Grundprinzipien bereits sehr früh wahrgenommen zu werden, dennoch müssen wir bis ins hohe Alter stets neue Zusammenhänge erkennen und Erklärungen für eben diese finden. Wie gelingt es im Säuglings- und Kleinkindalter etwas über neue Kausalitäten zu lernen?

Neuere Theorien nehmen an, dass Säuglinge und Kleinkinder wie Wissenschaftler vorgehen, um die Welt verstehen und vorhersagen zu lernen (Gopnik, 2012). Mit zunehmender Erfahrung in bestimmten Bereichen können statistische Regelmäßigkeiten erkannt werden (z.B. Gopnik & Schulz, 2004). Dabei scheinen auch bereits Wahrscheinlichkeiten beachtet zu werden. So kam es in Studien mit 8 Monate alten Säuglingen zu einer stärkeren Dishabituationsleistung, wenn der plötzlich enthüllte Inhalt einer Urne vorwiegend Kugeln der äußerst selten gezogenen Farbe enthielt, als wenn es sich bei der beobachteten Ziehung um ein sehr wahrscheinliches Ereignis handelte (Xu & Garcia, 2008). 11 Monate alte Kinder differenzierten hierbei sogar zwischen einer zufälligen und einer intentionalen Ziehung und zeigten sich nicht überrascht bei einem äußerst unwahrscheinlichen Resultat der Ziehung, wenn es sich um eine intentionale Ziehung handelt (Xu & Denison, 2009).

Der Ansatz statistischen Lernens geht davon aus, dass Säuglinge und Kleinkinder Korrelationen und Regularitäten wahrnehmen und auf Basis dessen auch die Ursache eines Ereignisses inferieren können (Gopnik & Schulz, 2004).

Studien zum Erschließen kausaler Ursachen im Kleinkind- und Vorschulalter scheinen diese Annahme zu stützen. Häufig findet hierbei das sogenannte „Blicket-Detektor“-Paradigma Anwendung (Gopnik, Sobel, Schulz, & Glymour, 2001; Gopnik & Sobel, 2000; Gopnik, 2012). Diese Maschine übt eine für die Kinder neuartige „kausale Kraft“ aus. Sie kann bestimmte Objekte als „Blickets“ erkennen. Sobald ein solches Objekt auf die Maschine gelegt wird, beginnt die Maschine zu blinken und Töne zu erzeugen, wohingegen sie bei allen anderen Objekten unverändert bleibt (siehe Abbildung 6).

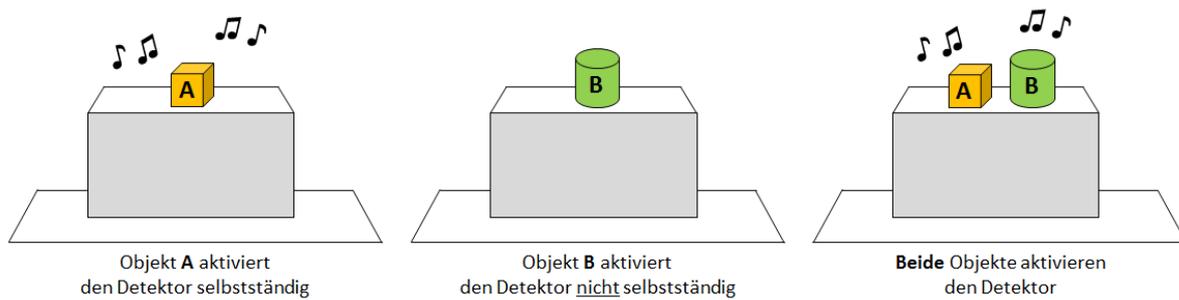


Abbildung 6. Der „Blicket-Detektor“ (Gopnik & Sobel, 2000). Links: Objekt A aktiviert die Maschine. Mitte: Objekt B erzeugt keinen Effekt. Rechts: Beide Objekte liegen auf der Maschine, sie ist aktiviert. Ziel ist es nun, das richtige Objekt zu entfernen, Grafik nach Gopnik (2012)

In einer Studie von Gopnik et al. (2001) wurde zwei-, drei- und vierjährigen Kindern zunächst die Blicket-Maschine gezeigt und es wurde sichergestellt, dass die Kinder verstanden hatten, dass nur ein Blicket die Maschine aktivieren konnte. Daraufhin folgte eine kurze Demonstration eines Objektes (A). Dieses aktivierte die Maschine, sobald es auf ihr auflag (siehe Abbildung 6, links). Mit einem anderen Objekt (B) hingegen gelang dies nicht und die Maschine blieb stumm und blinkte nicht (Abbildung 6, Mitte). Es handelte sich also nur bei Objekt A um ein Blicket (Ein-Ursachen-Bedingung). In einer weiteren Bedingung sahen die Kinder zwei neue Objekte. Nun waren beide in der Lage, die Maschine zu aktivieren (eines davon immer, das andere in 66% der Fälle). Es handelte sich also in beiden Fällen um Blickets (Zwei-Ursachen-Bedingung). Kinder jeder Altersgruppe waren in der Lage, Blickets und Nicht-Blickets zuverlässig zu identifizieren. Wurden beide Objekte auf der Maschine platziert, woraufhin diese wieder ertönte und blinkte (siehe Abbildung 6, rechts), war es den Kindern außerdem möglich, die Maschine durch Wegnahme des korrekten Objektes auszuschalten.

Auch in einer komplexeren Variante der Blicket-Maschinen-Aufgabe, bei der relationale Prinzipien bei der Objektauswahl beachtet werden mussten (es mussten stets zwei gleich aussehende Stimuli oder zwei unterschiedlich aussehende gemeinsam ausgewählt und auf die Maschine gestellt werden), waren bereits 18 Monate alte Kinder in der Lage, die richtigen Stimuli auszuwählen, um die Blicket-Maschine zum Laufen zu bringen (Walker & Gopnik, 2014). Die Kombination aus dem Erkennen relevanter Relationen und kausaler Prinzipien ist besonders hilfreich für das Lösen von Problemen. Es bildet die Grundlage für erfolgreichen Wissenstransfer (siehe Kapitel 2.6., S. 64).

Interessanterweise gelang es 19 Monate alten Kindern im Gegensatz zu Zweijährigen jedoch nicht, retrospektiv Schlüsse über die kausale Relevanz eines Objektes zu ziehen, wenn sie die Wirkung dieses Objektes alleine nie gesehen hatten. Die Kinder sahen zunächst beide Objekte gemeinsam, sowie nur eines der beiden Objekte (das Nicht-Blicket) einzeln auf dem Blicket-Detektor und sollten anschließend das Blicket identifizieren und die Maschine selbstständig aktivieren. Die erforderliche Umsetzung in eigenständige Handlungen könnte hierbei mit dem kausalen Verständnis konfundiert sein. So ist es möglich, dass die Umsetzung des kausalen Verständnisses in motorische Handlung (d.h. in Greifverhalten) zu schwierig war. Auch wenn die Kinder verstanden hatten, bei welchem Objekt es sich um ein Blicket handelte, könnte es sein, dass die kognitiven Kapazitäten nicht ausreichten, um dieses Wissen auch in eigene Handlungen umzusetzen (vgl. Bonawitz et al., 2010).

Hinweise darauf, dass dies tatsächlich die Leistung mindern könnte, gibt eine zusätzlich durchgeführte Eye-Tracking-Studie mit 8 Monate alten Säuglingen (Sobel & Kirkham, 2006). Es wurden zwei Objekte gezeigt, die gemeinsam stets dem Auftreten eines Zielobjektes an einer anderen Stelle vorausgingen. Sie konnten dieses also zuverlässig vorhersagen. Eines der beiden Objekte wurde außerdem alleine auf dem Bildschirm präsentiert und war hierbei nicht mit dem Auftreten des Zielobjektes verknüpft. Das andere Objekt hingegen war nie alleine zu sehen. Die Kinder zeigten in dieser vereinfachten Version der Aufgabe bereits antizipatorisches Blickverhalten und schienen das vorhersagende Objekt identifizieren zu können, auch wenn sie dieses einzeln nie gesehen hatten und sich seine Kausalwirkung somit erschließen mussten.

In den bisher geschilderten Studien ging es stets um die Wahrnehmung und das statistische Lernen von kausalen Prinzipien. Das Erkennen von raum-zeitlichen Verknüpfungen und Regularitäten spielt hierbei die entscheidende Rolle. Tatsächlich sind diese Muster meist valide Hinweise auf Kausalität und – wie bereits angesprochen – gehen neuere Theorien davon aus, dass ein Großteil kausalen Lernens über das wiederholte Erfahren solcher Kovarianzen vermittelt wird (Gopnik & Schulz, 2004; Gopnik et al., 2001; Gopnik, 2012). Damit jedoch tatsächlich von Kausalität gesprochen werden kann und es sich nicht nur um eine durch zufällige Verknüpfungen hervorgerufene kausale Wahrnehmungssillusion handelt (Gavin, 1972; Michotte, 1982; S. 37), bedarf es eines Mechanismus, der die Ereignisse kausal miteinander verknüpft, einer Begründung ihres Zusammenhangs.

Schlottmann (2001) plädiert daher für eine Unterscheidung von kausaler Wahrnehmung und kausalem Verständnis. Für kausales Verständnis ist der Mechanismus hinter einem kausal erscheinenden Phänomen wichtig. Zwar mag das assoziative, schrittweise Erlernen von Kovarianzen in vielen Fällen für die Lösung eines Problems ausreichen. Bei komplexeren

Sachverhalten jedoch wird diese Strategie unökonomisch (siehe auch Buchanan & Sobel, 2011). Die Integration von Kausalwahrnehmung und Verständnis des hinter eines Ereignisses liegenden Mechanismus stellen daher einen wichtigen Entwicklungsschritt dar (Schlottmann, 2001).

Eine Aufgabe, die entwickelt wurde, um das Verständnis kausaler Mechanismen im Vorschulalter zu untersuchen, ist die sogenannte „Fred-the-Rabbit“-Aufgabe (Baillargeon & Gelman, 1980; zit. nach Bullock, Gelman, & Baillargeon, 1982). Bei dieser Aufgabe steht auf einem kleinen Podest ein Spielzeughase namens Fred. Vor dem Podest steht eine Reihe von Holztafeln, die, wenn sie angestoßen werden, dominoeffektartig auf Fred fallen und diesen vom Podest stoßen. Um diesen Effekt auszulösen, bedarf es eines Anstoßes der ersten Holztafel. Vor dieser steht ein Pfosten, durch den ein Stab reicht. Wird der Stab durch den Pfosten gedrückt, stößt er die erste Holztafel um und löst den Dominoeffekt aus, der schließlich Fred vom Podest stößt und in sein Bett fallen lässt.

Baillargeon, Gelman und Meck (1981, zit. nach Bullock et al., 1982) testeten mit dieser Aufgabe drei- bis vierjährige Kinder. Diese sahen den Vorgang und sollten vorhersagen, zu welchem Ereignis gewisse Modifikationen des Mechanismus (relevante und irrelevante) führen würden: zum gleichem Ereignis (Fred fällt ins Bett, d.h. die Modifikationen sind irrelevant) oder zum Ausbleiben des Ereignisses (Fred bleibt sitzen, d.h. die Modifikation erwirkt eine Änderung und ist somit relevant). Bereits Dreijährigen gelang es in über 86% der Fälle, die korrekte Vorhersage zu treffen.

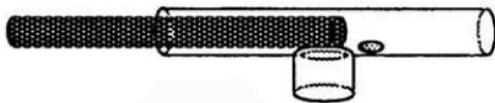
In die gleiche Richtung weisen Studien, bei denen der Mechanismus hinter einer auf Karten abgebildeten Transformation eines Objektes identifiziert werden sollte (Gelman, Bullock, & Meck, 1980). Drei- bis Vierjährigen wurden zwei Karten präsentiert. Auf der ersten sahen sie ein Objekt (z.B. eine Tasse), auf dem zweiten war das gleiche Objekt zu sehen, jedoch in veränderter Form (z.B. eine zerbrochene Tasse). Die Kinder sollten nun aus mehreren Karten diejenige auswählen, die das für die Transformation verantwortliche Objekt abbildete (z.B. einen Hammer). Bereits Dreijährigen gelang zuverlässig die Wahl der korrekten Transformationskarten. Sie zeigten jedoch mehr Fehler als vier Jahre alten Kinder und ihre verbalen Erklärungen waren häufiger unvollständig.

Das Vorliegen eines tiefgehenden Verständnisses kausaler Mechanismen ist ohne direkte Befragung in Paradigmen der bisher erläuterten Art nicht ohne Weiteres feststellbar. Alleine durch die Evaluation der kindlichen Wahlen und Handlungen kann häufig nicht zweifelsfrei geklärt werden, ob tatsächlich kausales Verständnis zur korrekten Problemlösung führte oder ob vielmehr auf assoziative Kovarianz-Erfahrung zurückgegriffen wurde. So gelang es den dreijährigen Kindern beispielsweise eher, Transformationen korrekt zu vervollständigen als die

Umkehr einer Transformation zu verstehen (z.B. das Zusammenkleben einer zerbrochenen Tasse; Gelman et al., 1980), was die Autoren darauf zurückführen, dass ihnen erstere Transformation bekannter war, sie die Verknüpfung häufiger gesehen hatten.

Es gilt daher, Situationen zu finden, in denen ein Erkennen der tieferen Struktur des Zusammenhangs Verhaltensvorteile bringt, eine Problemlösung möglicherweise nur durch tieferes Kausalverständnis erreicht werden kann. So könnte man eine Konfundierung des kausalen Verständnisses mit den verbalen Fähigkeiten vermeiden oder zumindest verringern.

Erfolg



Misserfolg

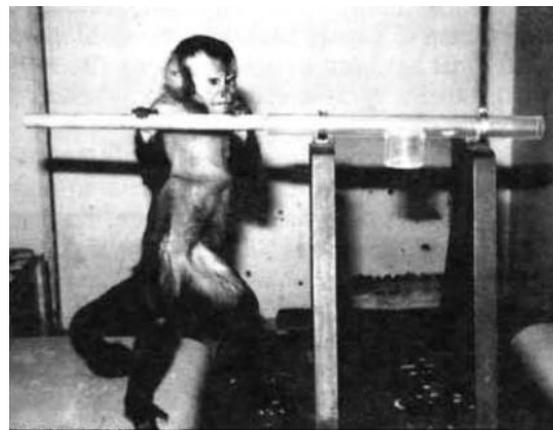
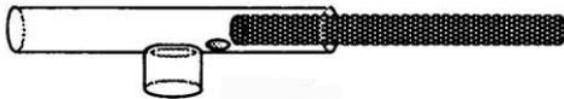


Abbildung 7. Die Trap-Tube-Aufgabe (aus Visalberghi & Limongelli, 1994). Im Innern des Rohrs liegt eine Nuss, die nur erlangt werden kann, wenn der Stab von der richtigen Seite eingeführt und das Loch in der Mitte des Rohrs somit vermieden wird (siehe links oben). Hierbei müssen simultan zwei Objekt-Relationen zueinander beachtet werden (Nuss zu Stab und Nuss zu Loch), somit handelt es sich nach Visalberghi & Fragaszy (2006, 2012) um eine simultane Relation zweiter Ordnung (siehe Tabelle 1). Rechts: Kapuzineraffe (Robinia, drei Jahre alt) beim Lösen der Trap-Tube-Aufgabe. Bildquelle: Visalberghi & Limongelli (1994).

Eine Möglichkeit bieten Transfer-Aufgaben, bei denen im Verlauf der Aufgabe plötzlich ein Aspekt derart verändert wird, dass das eigene Verhalten im Sinne der involvierten Kausalrelation angepasst werden muss. Ein prominentes Beispiel für eine solche Transferaufgabe ist die Trap-Tube-Aufgabe (Visalberghi & Limongelli, 1994, siehe Abbildung 7). Bei dieser Aufgabe aus der nicht-menschlichen Primatenforschung (entwickelt für die Erforschung kausalen Denkens bei Kapuzineraffen, *Cebus apella*) wird in einem durchsichtigen Rohr aus Plexiglas eine Belohnung platziert. Diese kann mit Hilfe eines Stabes aus dem Rohr gestoßen werden. Der Stab

muss jedoch von der richtigen Seite eingeführt werden, da es in der Mitte des Rohrs eine Falle gibt, in die die Belohnung fallen kann. In einer Lernphase darf in mehreren Durchgängen versucht werden, mit Hilfe des Stabes an die Belohnung zu gelangen. Die Belohnung wird in einigen Durchgängen links, in einigen rechts der Falle positioniert. Im Anschluss an die Lernphase erfolgt eine Transferaufgabe. Das Rohr wird nun umgedreht, so dass das Loch keine Falle mehr darstellt. Angenommen wird, dass jene Personen oder Versuchstiere, die das kausale Prinzip der Falle verstanden haben und in der Lernphase erfolgreich waren, keine Präferenz für eine bestimmte Seite mehr zeigen sollten. Das gleiche Bild sollte sich auch zeigen, wenn im Transfer ein durchgängiges Rohr ohne Loch in der Mitte präsentiert wird.

Nur wenige der Kapuzineraffen waren in der Trainingsphase erfolgreich. Die Transferaufgabe ließ darauf schließen, dass erfolgreiche Individuen eine distanzbasierte Regel erlernt („Stoße von der Seite, die am weitesten von der Belohnung entfernt ist“) und das kausale Prinzip wohl nicht verstanden hatten. Die erlernte Strategie wurde im Transfer lange Zeit beibehalten, begleitet von vorsichtigen, langsamen Stößen und stetem Monitoring der Auswirkungen der schrittweisen Handlung, auch wenn dies nicht mehr nötig gewesen wäre.

Auch Kindern unter drei Jahren scheint es noch schwer zu fallen, die Aufgabe erfolgreich zu meistern. Erst ab drei Jahren zeigten sich die Kinder im Training genauso erfolgreich wie eine Stichprobe Schimpansen (*Pan troglodytes*; Visalberghi & Limongelli, 1996). Das Verhalten der Schimpansen und dreijährigen Kinder unterschied sich auch qualitativ deutlich von den Kapuzineraffen. So schauten sie sich zunächst die gesamte Situation an und führten dann den Stab von der korrekten Seite ein. Äußerst selten wurde während eines Durchgangs die Seite noch einmal gewechselt. Ein Verhalten, das bei erfolgreichen Kapuzineraffen hingegen häufig zu verzeichnen war. Die Kinder konnten darüber hinaus korrekt erklären, wieso sie die gewählte Seite nutzen mussten und was passieren würde, wenn sie die andere Seite wählen würden.

Die Aufgabe wurde jedoch auch kritisiert. So kann bei einem Beibehalten der zuvor erfolgreichen, im Transfer jedoch überflüssigen Strategie nicht zwingend auf fehlendes Kausalverständnis geschlossen werden. Das Nichtanpassen der Strategie führt schließlich nicht zu Misserfolg, so dass eine Änderung des nun routinierten Verhaltens daher nicht unbedingt erstrebenswert ist. Auch erwachsene Menschen zeigen nicht immer die kausal sinnvollste Strategie und führen den Stab auch dann noch auf der Seite ein, die am weitesten von der Belohnung entfernt ist, wenn keine effektiven Fallen mehr vorhanden sind. Befragt man sie jedoch, so zeigt sich, dass sie das Prinzip verstehen und alles korrekt erklären können (Silva, Page, & Silva, 2005).

Ungeschickt erscheint auch, dass im Transfer ein zufälliges Wählen einer Seite als Indiz für kausales Verständnis gesehen wird. Möglich wäre es jedoch auch, dass das Ausbleiben einer Seitenpräferenz dadurch zustande kommt, dass keine Generalisierung des Prinzips stattfindet und sogar kleinste perzeptuelle Veränderungen einen Wissenstransfer verhindern.

Mittlerweile gibt es einige Modifikationen der Aufgabe, die auch für die Erforschung anderer Tiere wie beispielsweise Krähen und Raben (*Corvidae*) genutzt werden. Es zeigte sich hierbei vor allem bei Saatkrähen (*Corvus frugilegus*; z.B. Seed, Tebbich, Emery, & Clayton, 2006) und Neukaledonischen Krähen (*Corvus moneduloides*; Taylor, Hunt, Medina, & Gray, 2009; Taylor, Roberts, Hunt, & Gray, 2009) eine beeindruckende Transferfähigkeit gelernter Kausalprinzipien.

Allerdings bleibt Kritik an der Aufgabe bestehen. Der notwendige Einsatz eines Werkzeugs könnte die kognitiven Kapazitäten derart auslasten, dass es zu schlechten Leistungen kommt, die jedoch weniger in einem Mangel an kausalem Verständnis begründet liegen als vielmehr in einer zu großen kognitiven Auslastung durch die Verarbeitung von Relationen höherer Ordnung (vgl. Visalberghi & Fragaszy, 2006, 2012). So muss bei der Trap-Tube-Aufgabe nicht nur die Relation der Belohnung zur Falle beachtet werden, sondern ebenso die Relation des Werkzeugs zur Belohnung. Aktuelle Studien mit Schimpansen (*Pan troglodytes*), Bonobos (*Pan paniscus*) und Orangutans (*Pongo abelii*) deuten darauf hin, dass sich tatsächlich bessere Transferleistungen zeigen und eher Hinweise auf ein kausales Verständnis von Trap-Aufgaben vorliegen, wenn keine Werkzeuge genutzt werden müssen (Seed, Call, Emery, & Clayton, 2009; Völter & Call, 2014). Die Autoren sprechen von einem „Dual Task Loading“, also einer doppelte Beanspruchung kognitiver Ressourcen.

Für die Erforschung des Verständnisses kausaler Mechanismen eignen sich auch Paradigmen, die die Suche nach einer kausalen Erklärung für ein bestimmtes Phänomen erfassen. Povinelli und Dunphy-Lelii (2001) konfrontierten Vorschulkinder (fünf Jahre) und Schimpansen mit einer Aufgabe, in der sie Objekte aufrecht auf einem Tisch platzieren mussten, um eine Belohnung zu erhalten. In einer Trainingsphase war dies problemlos möglich. In der Transferaufgabe hingegen erhielten die Probanden ein Objekt, das zwar genauso aussah wie die Trainingsobjekte, dessen Schwerpunkt jedoch an einer anderen Stelle lag, so dass es nicht mehr erfolgreich aufzustellen war. Sowohl Schimpansen als auch Kinder versuchten lange Zeit, die Objekte dennoch aufrecht zu platzieren. Die Kinder inspizierten daraufhin gezielt und intensiv die Auflagefläche des Objektes visuell und taktil. Bei den Schimpansen traten deutlich weniger Inspektionen auf. Die Autoren schlossen daraus, dass Kinder gezielt den Grund des Misserfolgs suchten.

Darüber hinaus scheinen vierjährige Kinder auf ein gleiches Innenleben zurückzuschließen, wenn sich Objekte gleich verhalten. Selbst wenn sich Objekte mit unterschiedlichem Innenleben äußerlich ähneln, oder wenn sich Objekte mit ähnlichem Innenleben perzeptuell deutlich voneinander unterscheiden, gruppieren vier Jahre alte Kinder spontan eher die vom Innenaufbau her ähnlichen als die perzeptuell ähnlichen Objekte. Dreijährige ließen sich bei der Gruppierung hingegen noch deutlich von den äußeren Merkmalen leiten (Sobel, Yoachim, Gopnik, Meltzoff, & Blumenthal, 2007). Da es sich um Aufgaben handelt, die Arbeitsgedächtnis erfordern, könnten sich bei Aufgaben mit geringerer Belastung in dieser Hinsicht durchaus auch in jüngerem Alter ähnliche Ergebnisse zeigen.

2.4.4. Zusammenfassung und Bedeutung für die vorliegende Studienreihe

Bereits in den ersten Lebensmonaten scheinen sich grundlegende Voraussetzungen für kausales Verständnis zu entwickeln: Einfache Kausale Ereignisse werden als solche wahrgenommen und von nicht-kausalen Ereignissen unterschieden. Im zweiten Lebensjahr können Kausalstrukturen offenbar nicht nur wahrgenommen werden, sondern schlagen sich auch bereits in den eigenen Handlungen nieder. Dies trifft auch auf komplexere kausale Ketten zu. Es stellt sich jedoch die Frage, inwiefern es sich hierbei um Kausalverständnis handelt oder ob vielmehr von statistischem Kontingenzlernen die Rede sein sollte. Eine Antwort auf diese Frage können Transferparadigmen liefern, die es erfordern, dass wahrgenommene kausale Strukturen auf neue Situationen übertragen werden müssen.

Auch in der vorliegenden Studie wurde untersucht, inwiefern kausale Information in einer Problemsituation genutzt wird, um eine funktionale Lösung zu finden. Ein spontaner Transfer der erlernten Lösung auf eine neue Situation ist nur dann möglich, wenn ein gewisses Verständnis relevanter Kausalprinzipien vorhanden ist.

2.5. Teleologisches Verständnis und Flexibilität

„Was uns die außerordentliche Festigkeit des Glaubens an Causalität giebt, ist nicht die große Gewohnheit des Hintereinanders von Vorgängen, sondern unsere Unfähigkeit, ein Geschehen anders interpretieren zu können denn als ein Geschehen aus Absichten.“

-- Friedrich Nietzsche (Nachlass Herbst 1885 – Herbst 1886, 2, S. 84)

2.5.1. Wahrnehmung von Urheberschaft (Agency)

Nietzsche sieht in der Wahrnehmung von Absichten die Grundlage des Erkennens von Kausalität. In der Tat spielt Intentionalität eine bedeutende Rolle wenn wir nach der kausalen Ursache eines Geschehens suchen. Wie kommt es zur Initiation eines Ereignisses?

Bewegungen und Handlungen sind entweder selbstinitiiert oder von außen herbeigeführt. Während belebte Objekte Bewegungen selbst initiieren können, brauchen unbelebte Objekte in aller Regel einen Anstoß. Bereits vor dem ersten Lebensjahr scheinen Säuglinge sensitiv für die Ziele belebter Objekte zu sein (Luo, 2010; Pauen, 2008; Woodward, 1998, 2003). Auch unbelebten Objekten können Intentionen zugeschrieben werden, sofern diese sich selbstinitiiert bewegen (Luo & Baillargeon, 2005). Bereits im ersten halben Lebensjahr scheinen also nicht nur statische Merkmale für die Identifikation eines Agenten (d.h. Ereignisinitiators) genutzt zu werden, sondern auch dynamische Eigenschaften. Von selbstinitiiertem Bewegung wird auf Zielgerichtetheit geschlossen.

Die Wahrnehmung von Zielen kann gegen Ende des ersten Lebensjahres genutzt werden, um nach Ursachen für kausale Ereignisse zu suchen: 10 Monate alte Säuglinge scheinen die Bewegung eines unbelebten und nicht selbstinitiierten Objektes (ein Sack, der seitlich auf eine Bühne geworfen wird) einem belebten Agenten (einer Hand) zuschreiben. Die Kinder zeigten sich überrascht, wenn im Anschluss an die Bewegung eine Hand auf jener Seite der Bühne auftauchte, von der das Objekt durch eine Wand getrennt war und sich das Objekt somit selbst auf die Bühne bewegt haben müsste. Bei belebten Objekten (in diesem Fall eine Puppe) zeigten sie sich nicht überrascht. Hier widersprach die eigenständige Bewegung offenbar nicht den Erwartungen (Saxe, Tenenbaum, & Carey, 2005).

Auch in einem anderen Paradigma zeigte sich das gleiche Muster. In einer ambivalenten Bewegungssituation (zwei Objekte, ein Plüschtier und ein Ball, bewegen sich gemeinsam) schienen 7 Monate alte Säuglinge dem Objekt mit belebten statischen Attributen (Fell und Augen) eher die Kausalwirkung zuzuschreiben. Sie blickten im Anschluss der Bewegung, wenn beide Objekte still nebeneinander lagen, länger auf das tierartige Objekt (Pauen & Träuble, 2009). Dass sie dieses Objekt anscheinend durch die Attribute Fell und Augen als belebt kategorisierten, zeigten Kontrollbedingungen, bei denen das Objekt entweder keine Augen oder kein Fell (stattdessen eine Metallspirale) besaß. In diesen Fällen zeigten die Kinder im Anschluss an die gemeinsame Bewegung keine Blickpräferenz mehr.

Das Erschließen der Ursache eines Kausalzusammenhangs könnte hilfreich beim Erlernen des Werkzeuggebrauchs sein, da sie ein tieferes, über die reine Wahrnehmung von Zusammenhängen hinausgehendes Verständnis ermöglicht. Im Einklang mit dieser Annahme stehen Befunde, die die Sensitivität für versteckte kausale Ursachen bei Neukaledonischen Krähen nahelegen (Taylor, Miller, & Gray, 2012), einer Spezies, die sich als besonders geschickt im Umgang mit Werkzeugen erwiesen hat und diese äußerst flexibel und angepasst einzusetzen vermag (Bluff et al., 2007; Weir & Kacelnik, 2006).

Auch für die Umsetzung kausalen Wissens in eigene Handlungen könnte die intentionale Urheberschaft von Ereignissen (das Agententum oder „Agency“) relevant sein. Die Beobachtung eines intentionalen Agenten scheint das eigene kausale Handeln zu fördern (siehe Bonawitz et al., 2010; Meltzoff et al., 2012; Kapitel 2.4.2., S. 47). Wie bereits beschrieben, vermag wohl die Betonung eines Ziels die korrekte Lösung eines Problems zu unterstützen. Dies traf auf einfache Mittel-Ziel-Handlungen im Alter von 8 Monaten (Gerson & Woodward, 2013) ebenso zu wie auf planungsvolle Handlungssequenzen im Alter von 21 bis 27 Monaten (Bauer et al., 1999; siehe auch Kapitel 2.2.3., S. 20).

2.5.2. Soziales Lernen von Objektfunktionen

Das Beobachten anderer spielt von Geburt an eine große Rolle für die geistige Entwicklung des Menschen. Bereits Neugeborene sind besonders sensitiv für soziale Stimuli und präferieren gesichtartige Konfigurationen (z.B. Goren, Sarty, & Wu, 1975; Valenza, Simion, Cassia, Umiltà, & Padova, 1996). Im ersten Lebensjahr werden bereits einfache Handlungen anderer nachgeahmt (z.B. Barr, Dowden, & Hayne, 1996; Herbert, Gross, & Hayne, 2006). Diese Imitationstendenz scheint im Laufe der Kindheit zuzunehmen (Elsner & Aschersleben, 2003; Fagard & Lockman,

2010; McGuigan, Whiten, Flynn, & Horner, 2007; Nielsen, 2006) und auch im Erwachsenenalter bestehen zu bleiben (Flynn & Smith, 2012; McGuigan, Makinson, & Whiten, 2011).

Es gibt hierbei sowohl Hinweise auf sogenannte selektive oder rationale Imitation, bei der Handlungen nur dann imitiert werden, wenn sie rational erklärbar sind (Buttelmann, Carpenter, Call, & Tomasello, 2008; Gergely, Bekkering, & Király, 2002; Zmyj & Buttelmann, 2014), als auch Zeichen von Überimitation, d.h. treues Kopieren relevanter wie irrelevanter Handlungsschritte (Horner & Whiten, 2005; Kenward, 2012; Nielsen, 2006; Yu & Kushnir, 2014). Der Umgang mit Werkzeugen, den wir bei anderen beobachten, beeinflusst unseren eigenen Umgang mit eben diesen Objekten oder der gleichen Art von Objekt.

Bereits eine einzige Demonstration des Gebrauchs eines neuen Objektes scheint auszureichen, damit zweieinhalb, drei und vier Jahre alte Kinder bei der Aufforderung, ein bestimmtes Ziel zu erreichen, vorwiegend ein Objekt der gleichen Art auswählen, auch wenn andere, ebenso effektive Werkzeuge zur Wahl stehen. Werden sie hingegen aufgefordert, ein anderes Ziel zu erreichen, so wird das Objekt im Gegensatz zu alternativen Objekten kaum genutzt. Bei einer Wiederholung der Wahl nach ein bis drei Tagen zeigte sich ein ähnliches Muster (Casler & Kelemen, 2005). Auch 24 Monate alte Kinder neigten dazu, für den gleichen Zweck das demonstrierte Werkzeug auszuwählen. Allerdings setzten sie dieses im Gegensatz zu den älteren Kindern auch für andere Zwecke ein und schienen somit weniger rigide Objekt-Funktionszuschreibungen vorzunehmen als ältere Kinder (Casler & Kelemen, 2007).

Im Kleinkindalter entwickelt sich die Tendenz, Objekte so wahrzunehmen, als seien sie für einen bestimmten Zweck geschaffen. In der Literatur wird dies vielfach als teleologische oder teleofunktionale Haltung beschrieben („Teleofunctional stance“; z.B. Kelemen, 1999).⁴ Diese Tendenz wird vermutlich maßgeblich durch zunehmende Erfahrung mit konventionellem Objektgebrauch im Alltag beeinflusst und scheint über die gesamte Lebensspanne in gewissem Maße erhalten zu bleiben. Selbst erwachsene Wissenschaftler stimmen unter Zeitdruck eher falschen teleologischen als falschen kausalen Erklärungen für bestimmte Phänomene zu (Kelemen, Rottman, & Seston, 2013).

Die besondere Empfänglichkeit für die Funktion eines Objektes in Kombination mit Prozessen sozialen Lernens birgt große Vorteile für das Erlernen neuer Werkzeughandlungen (Hernik & Csibra, 2009). Säuglinge und Kleinkinder lernen nicht nur durch beiläufiges

⁴ Für die Entwicklung dieser teleologischen Haltung gibt es unterschiedliche Erklärungsansätze, die entweder die Sensibilität für Intentionen als zentrales Element sehen oder aber vielmehr ein nicht-intentionales Verständnis von Ereignisurheberschaft („Agency“) betonen. Diese Theorien sollen hier jedoch nicht näher diskutiert werden (siehe Csibra & Gergely, 2007; Gergely & Csibra, 2003; Kelemen, 1999).

Beobachten etwas über neue Handlungen mit Objekten. Erwachsene interagieren mit ihnen und konstruieren gezielt Lehrkontexte, in denen sie Wissen über Objekte weitergeben (Kennzeichnung des Kontextes z.B. durch Ammensprache, direkte Ansprache, Anlächeln des Kindes, Augenkontakt oder kontingente Reaktionen auf das Kind; siehe Natural Pedagogy, Csibra & Gergely, 2009, 2011; Gergely & Csibra, 2005). Das Erschaffen eines solchen natürlichen pädagogischen Kontextes scheint die Aufnahme neuer Informationen (Gergely, Egyed, & Király, 2007; Marinovic, Pauen, Birkenberg, & Fischer, 2010) sowie die Imitationstreue (Király, Csibra, & Gergely, 2013; Yu & Kushnir, 2014) zu beeinflussen.

2.5.3. Funktionale Gebundenheit

Das treue Imitieren neuer Artefaktfunktionen ist vor allem im Angesicht undurchsichtiger und komplexer kausaler Mechanismen äußerst hilfreich. Es spart Ressourcen, sich zunächst auf das Wissen anderer verlassen zu können, anstatt das Rad neu zu erfinden (Cutting, Apperly, & Beck, 2011).

Doch es gibt auch eine Kehrseite der Medaille: Die rigide Objekt-Funktions-Verknüpfung führt zu Inflexibilität. Diese negative Seite des teleologischen Objektverständnisses wird auch als funktionale Fixiertheit oder „funktionale Gebundenheit“ bezeichnet. Der Begriff wurde bereits in den 1930er Jahren von Karl Duncker (1935) im Rahmen seiner Arbeiten zum produktiven Denken und flexiblen Problemlösen geprägt. Er entwickelte die sogenannte „Schachtelaufgabe“, die in der Literatur häufig als „Kerzenproblem“ beschrieben wird. Erwachsene Probanden sollten hierbei drei kleine Kerzen an der Wand befestigen. Zur Verwendung standen drei kleine Kisten, die mit Streichhölzern, den kleinen Kerzen, sowie mit Reißzwecken gefüllt waren. Um die Lösung zu finden, durften die Kisten nicht mehr nur in ihrer Funktion als Behältnisse gesehen werden. Stattdessen konnte eine der Kisten mit Hilfe der Reißzwecken als Kerzenhalter an der Wand befestigt werden. Nur 43% der Versuchspersonen waren in der Lage, die beschriebene Aufgabe zu lösen. Waren die Schachteln nicht mit den Versuchsmaterialien gefüllt, sondern lagen leer neben diesen, lösten alle Probanden die Aufgabe.

Die zuvor beschriebenen Studien (Casler & Kelemen, 2005, 2007) sowie weitere Studien im Kleinkindalter (z.B. Elsner & Schellhas, 2012; Phillips, Seston, & Kelemen, 2012) zeigen, dass auch in jüngeren Jahren bereits funktionale Gebundenheit aufzutreten scheint, selbst nach einmaliger Beobachtung der Objektnutzung. In einem kommunikativen Kontext neigen anscheinend bereits 10 Monate alte Kinder dazu, Objekten nur eine Funktion zuzuschreiben und nutzen funktionale Information zur Objektindividuation (Futó, Téglás, Csibra, & Gergely, 2010).

Die funktionale Gebundenheit scheint im Laufe des Vorschulalters zuzunehmen. Defeyter und German (2003) stellten fünf- bis siebenjährigen Kindern die Aufgabe, ein Plüschtier aus einem Rohr zu stoßen und boten ihnen verschiedene Hilfsmittel zur Auswahl, von denen nur eines funktional war. Ehe die Kinder mit der Aufgabe konfrontiert wurden, sahen sie das funktionale Hilfsmittel in einer anderen Funktion. So wurde beispielsweise mit einem Stift, der als einziges Hilfsmittel lang genug war, um das Plüschtier aus dem Rohr zu stoßen, auf einen Zettel geschrieben. Dies reichte aus, um die Häufigkeit einer korrekten Lösung der Aufgabe im Vergleich zur Kontrollgruppe, die eine Demonstration mit einem anderen, nicht-funktionalen Objekt gesehen hatte, deutlich zu senken. Es zeigte sich zudem ein deutlicher Alterstrend hinsichtlich der Lösungsgeschwindigkeit: Jüngere Kinder konnten die funktionale Gebundenheit anscheinend eher überwinden als ältere und benötigten deutlich kürzer, um an das Plüschtier zu gelangen.

Selbst bei Erwachsenen scheint die Tendenz, Objekte teleologisch wahrzunehmen so weitreichend zu sein, dass sie mitunter Objekte auswählen, die offensichtlich die falsche Größe haben, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen, wenn diese Art von Objekt normalerweise für diesen Zweck benutzt wird (Casler, Hoffman, & Eshleman, in press).

Neben der Beobachtung einer bestimmten Handlung mit einem Objekt scheinen auch eigene Handlungen und Erfahrungen mit Objekten den späteren Raum an Handlungsmöglichkeiten einzuschränken. 12 bis 18 Monate alten Kindern fiel es in einer Studie von Barrett, Davis und Needham (2007) schwer, ein ihnen bekanntes Werkzeug für ein neues Ziel zu nutzen. Aufgabe war es, mit dem Stiel eines Löffels ein Licht in einer Box anzuschalten. Hierzu musste der Löffel unüblicherweise an der Löffelschale statt an seinem Stiel gehalten werden. Selbst wenn der Versuchsleiter den neuen Griff demonstrierte, gelang es den Kindern nicht, das Werkzeug in neuer Weise einzusetzen. Ein ihnen unbekanntes Objekt konnten sie hingegen flexibel als Werkzeug für die Aufgabe nutzen und es von beiden Seiten greifen. Nach einem einwöchigen täglichen Training mit den neuen Objekten, in denen unterschiedliche Gruppen von Kindern lernten, die Objekte auf unterschiedliche Weise zu nutzen, zeigte sich, dass Aufgaben in Übereinstimmung mit der gelernten Nutzung einfacher zu lösen waren als Aufgaben, bei denen die Objekte auf neue Art und Weise eingesetzt werden mussten.

Mittlerweile gibt es auch erste Befunde zu funktionaler Gebundenheit bei nicht-menschlichen Primaten: Orang-Utans zeigten bei der „Object-Floating-Task“ (Mendes, Hanus, & Call, 2007) Probleme, Wasser aus einem bekanntem Wasserspender in den Mund zu nehmen und anschließend in ein Rohr zu spucken, um an eine Nuss zu gelangen. Mit einem neuen Wasserspender gelang ihnen dies deutlich besser (Hanus, Mendes, Tennie, & Call, 2011).

Dennoch konnte bei anderen Tierarten bislang kein teleologisches Funktionsverständnis von Objekten gefunden werden, das mit dem menschlichen vergleichbar wäre (Vaesen, 2012). Dies könnte dem hohen Stellenwert von Imitation und normativem Handeln beim Menschen geschuldet sein (siehe auch Casler, Terziyan, & Greene, 2009), welches zusätzlich zur individuellen Lernerfahrung positive wie negative Spuren hinsichtlich der Flexibilität im Umgang mit Objekten hinterlässt.

2.5.4. Zusammenfassung und Bedeutung für die vorliegende Studienreihe

Menschen sind soziale Wesen, für die das Lernen von anderen einen besonderen Stellenwert genießt. Bereits von Geburt an sind Säuglinge sensitiv für soziale Signale. Ziele und Intentionen anderer werden früh wahrgenommen und für die eigenen Handlungen genutzt. Dies ist äußerst hilfreich und führt zu einem besonders schnellen Erlernen des zielgerichteten Gebrauchs eines neuen Objektes, insbesondere in Problemsituationen, in denen das Kausalprinzip undurchsichtig ist. Es birgt jedoch auch Nachteile: Durch die zunehmende Erfahrung der Funktionalität dieses Prinzips verknüpfen Kleinkinder ein Objekt bereits nach einmaliger Funktionsdemonstration mit dem demonstrierten Ziel. Es fällt ihnen daraufhin schwer, das Objekt in anderer Weise einzusetzen, es wird als für einen bestimmten Zweck geschaffen repräsentiert.

Elsner und Schellhas (2012) merken an, dass sich die Erfahrung mit einem Werkzeug zwar negativ auf das Nutzen dieses Werkzeugs zu einem anderen Zweck oder auf andere Weise auszuwirken scheint (siehe auch Barrett et al., 2007; Casler & Kelemen, 2005; Smitsman & Cox, 2008). Gleichzeitig könnte die Erfahrung mit Werkzeugen jedoch förderlich für den Transfer einer funktionalen Handlung auf ein neues, strukturell ähnliches Objekt sein (Elsner & Pauen, 2007; Yang, Sidman, & Bushnell, 2010).

Welche Art des Wissenstransfers ist von größerer Bedeutung? Zwar mag es mühsam sein, wenn ein Objekt nicht flexibel für das Erreichen unterschiedlicher Ziele im Alltag eingesetzt werden kann. Jedoch existieren in unserer Welt bereits viele unterschiedliche Objekte, die im Alltag alternativ genutzt werden können. Gravierender erscheint es hingegen, funktionale Prinzipien, erlernte Strategien nicht auf neue Situationen übertragen zu können. Der Transfer von Funktionswissen auf neue Situationen ermöglicht es uns erst, mit neuen Anforderungen umzugehen, effizient zu reagieren und uns flexibel an neue Gegebenheiten anzupassen.

Neben dem spontanen Transfer von Funktionswissen ist es ebenso wichtig, die Fehlerkorrektur und Anpassung an neue Situationen zu evaluieren. In Transferstudien mit

Kleinkindern fehlen solche Analysen noch weitgehend. Die vorliegende Studie nahm sich dem an und machte es sich zum Ziel, die flexible Anpassungsfähigkeit in Transfersituationen genauer untersuchen.

2.6. Funktionaler Wissenstransfer

„[...] [A]nalogy is indeed an indispensable and inevitable tool for scientific progress. [...] I mean a special kind of similarity which is the similarity of structure, the similarity of form, a similarity of constellation between two sets of structures, two sets of particulars, that are manifestly very different but have structural parallels. It has to do with relation and interconnection. [...] Science is an immensely creative and enriching experience; and it is full of novelty and exploration; and it is in order to get to these that analogy is an indispensable instrument.”

-- Robert Oppenheimer (1956, S. 129f)

Nicht nur für den wissenschaftlichen Fortschritt ist das Denken in Analogien äußerst wichtig. Analogien sind allgegenwärtig. Die Nutzung von Analogien ist zentraler Bestandteil menschlichen Denkens und Problemlösens. Für einige Autoren sind Analogien gar „[...] the very blue that fills the whole sky of cognition [...]“ (D. R. Hofstadter, 2001).

Im Alltag greifen wir ständig auf unsere Erfahrungen und unser Wissen zurück (Goswami, 1992; Holyoak & Gentner, 2001; Holyoak & Thagard, 1997). Damit das Wissen auch tatsächlich zur gegebenen, neuen Situation passt, ist es wichtig, strukturelle Ähnlichkeiten zu erkennen und das Wissen in korrekter Weise auf die neue Situation übertragen zu können.

Formal handelt es sich bei einer Analogie um ein Verhältnis zwischen zwei Systemen, bei dem sich Element A aus System 1 zu Element B aus System 1 verhält wie Element C aus System 2 zu Element D aus System 2 (A:B :: C:D). So verhält sich beispielsweise Amsel zu Wurm wie Pandabär zu Bambus (Amsel : Wurm :: Pandabär : Bambus). A und B verbindet die Relation „fressen“, A und C verbindet, dass es sich in beiden Fällen um Lebewesen handelt. Zwischen C und D besteht die gleiche Relation wie zwischen A und B. Es handelt sich also um analoge Fälle.

Analogien helfen dabei, die Welt zu verstehen (Thibaut et al., 2008), sie unter Rückgriff auf bereits vorhandenes Wissen zu strukturieren. Hier zeigen sich deutliche Parallelen zur Kategorisierung. Laut Turner (1988) basieren Analogien und Kategorisierungen auf dem gleichen Verknüpfungsprinzip von Wissen. Analogien seien letztlich Kategorisierungen, die weniger tief in unserem Konzeptsystem verankert seien. So verstünden wir beispielsweise den Ausdruck „Ein Mann ist ein Stein“ als Analogie (oder auch relationale Metapher, siehe Gentner & Markman,

1997), da diese Zuordnung nicht so tief verankert sei wie beispielsweise die Zuordnung von Granit zur Kategorie Stein. Den Ausspruch „Ein Granit ist ein Stein“ verstehen wir aufgrund der tieferen Verankerung dieser Zuordnung in unserem Konzeptsystem als Kategorie und nicht als Analogie. Unsere Art zu kategorisieren sei aufschlussreich im Hinblick auf unsere Fähigkeit, Analogien zu bilden. Auch die Debatte über die Gewichtung perzeptueller und konzeptueller Informationen findet sich in beiden Bereichen (siehe Kapitel 2.6.4., S. 69 und 2.3.1., S. 32).

Auch Green, Fugelsang und Dunbar (2006) nehmen an, dass Kategorisierungsprozesse aufschlussreich im Hinblick auf die Analogiebildung sein können. Ihr Mikro-Kategorisierungsansatz (Green et al., 2006; Green, Fugelsang, Kraemer, & Dunbar, 2008) geht jedoch über einen reinen Vergleich zwischen Analogie und Kategorie hinaus und nimmt an, dass die Kategorisierung von Elementen bei deren Anordnung in Analogien helfen kann. Dies veranschaulichen sie am Beispiel der formalen Analogie Hand : Handschuh :: Fuß : Socke. Hierbei sei es hilfreich, Hand und Fuß als Körperteile, sowie Handschuh und Socke als Kleidungsstücke zu kategorisieren, um deren konzeptuelle Ähnlichkeit erkennen zu können.

Tatsächlich zeigte sich bei einem Priming-Experiment, bei dem mittels Vier-Wortpaaren wie den oben beschriebenen, entweder Analogien oder Kategorien geprimt wurden, dass beim Analogiepriming offenbar auch die Kategorien der involvierten Elemente aktiviert wurden (Green et al., 2006). Kategoriale Relationen zwischen den einzelnen Elementen wurden sogar ebenso stark in der Analogie-Priming-Aufgabe aktiviert wie bei einem kategorialen Priming. Grundlegende semantische Ähnlichkeiten konnten die Aktivierung der kategorialen Verarbeitung bei Analogien nicht erklären, da diese alleine kein kategoriales Priming auslösen konnten (Green et al., 2008). Kategoriale Verarbeitung scheint also auch beim Analogiebildungsprozess eine bedeutende Rolle zu spielen.

2.6.1. Structure-Mapping

Die bis heute einflussreichste Theorie zur Analogiebildung ist die Structure-Mapping-Theorie (Gentner & Markman, 1997; Gentner, 1983), die implizite Regeln des Denkens in Analogien beschreibt. Analogien werden darin als strukturelle Abbildung (*Mapping*) von Wissen eines bekannten Bereichs (*Basis*) auf eine unbekannte, neue Situation (*Ziel*) verstanden. Basis- und Zielstruktur bestehen aus Elementen und Beziehungen zwischen diesen Elementen. Hierbei wird zusätzlich zwischen Relationen erster und zweiter Ordnung unterschieden. Bei Relationen erster Ordnung handelt es sich um Relationen zwischen Elementen der Struktur. Bei Relationen zweiter Ordnung um Relationen zwischen Relationen.

Jedes Element der Basis kann höchstens einem Element der Zieldomäne zugeordnet werden (*Eins-zu-Eins-Korrespondenz*). Es müssen aber weder alle Elemente der Basis auf die Zielstruktur abgebildet werden, noch muss auf alle Elemente der Zielstruktur abgebildet werden. Die abzubildenden Elemente und Relationen werden nach ihrer Relevanz ausgewählt.

Bevorzugt werden ganze Systeme von Relationen, also Relationen höherer Ordnung, abgebildet statt einzelner Verbindungen zwischen Elementen (*Systematisizitätsprinzip*). Die Beziehungen zwischen den aufeinander abgebildeten Elementen müssen identisch sein. Ihr Äußeres darf sich hingegen beliebig stark unterscheiden. Für eine Analogie ist eine hohe Oberflächenähnlichkeit weder notwendig noch hinreichend. Zentral ist die strukturelle oder relationale Ähnlichkeit der Elementbeziehungen untereinander (*Parallele Konnektivität*).

Basierend auf dem beschriebenen Structure-Mapping-Prinzip wurden auch bereits Computersimulationsprogramme menschlicher Analogiebildung entworfen (z.B. SME: Falkenhainer, Forbus, & Gentner, 1989; MAC/FAC: Forbus, Gentner, & Law, 1994).

2.6.2. Formale Analogieaufgaben

Eine Möglichkeit, die Fähigkeit zur Analogiebildung zu erforschen, sind formale Analogieaufgaben ($A : B :: C : ?$). Hierbei handelt es sich um eine direkte Umsetzung des Analogieprinzips. Aufgabe ist es, für D das passende Element in Form eines Wortes oder Bildes auszuwählen (z.B. Goswami & Brown, 1990; Piaget, Montangero, & Billeter, 1977; Singer-Freeman, 2005).

In der differentiellen Psychologie wurde bereits in den 1920er Jahren die Bedeutung der Analogiebildung und ihre enge Verbindung zur Intelligenz beachtet (siehe auch Sternberg, 1977). So haben seither formale Analogieaufgaben ihren festen Platz in etablierten Intelligenztests (z.B. I-S-T 2000 R: Liepmann, Beauducel, Brocke, & Amthauer, 2007; HAWIK-IV: Petermann & Petermann, 2010; SON-R 2 ½-7: Tellegen, Laros, & Petermann, 2008).

Sternberg (1977) beschrieb in einem Prozessmodell die einzelnen kognitiven Schritte beim Lösen solcher analogen Probleme. Zunächst müssen relevante Charakteristika der einzelnen Elemente (A, B, C und der Alternativen für D) aus dem Langzeitgedächtnis abgerufen werden. Diese müssen im Arbeitsgedächtnis behalten und mit den Informationen über die anderen Elemente abgeglichen werden (*Enkodierung*). Im nächsten Schritt folgt dann das Erkennen der Relation zwischen A und B (*Inferenz*), bevor es dann zur Identifikation der Ähnlichkeiten zwischen A und C kommt (*Mapping*). Die erkannte Relation zwischen A und B wird anschließend auf C und alle zur Auswahl stehenden Alternativen übertragen (*Anwendung*). Hierzu müssen alle

möglichen C-D-Paarungen geprüft und miteinander verglichen werden, da die bestpassende Möglichkeit gefunden werden muss (*Begründung*). Im letzten Schritt erfolgt dann die Auswahl einer *Antwort* aus allen zur Wahl stehenden Alternativen für D.

Erste Studien zur Analogiebildung im Kindesalter (Piaget et al., 1977), die formale Analogieaufgaben mit Bildern nutzten, schienen zu zeigen, dass es Kindern erst mit etwa zwölf Jahren möglich war, die Relationen und Identitäts- und Gleichheitsprinzipien einer Analogie wirklich zu verstehen und auch falschen Alternativvorschlägen zu widerstehen. Zwar kam es auch bereits bei fünf bis sechs Jahre alten Kindern zu korrekten Lösungen, meist deuteten die Antworten der Kinder jedoch auf ein unzureichendes Verständnis der Analogie hin. Eine genauere Fehleranalyse zeigte außerdem, dass eine hohe Oberflächenähnlichkeit oder ein hoher thematischer Assoziationsgrad zwischen C und D für falsche Wahlen verantwortlich zu sein schien. So erfolgten beispielsweise assoziative Paarungen wie „Schiff – Vogel“, da „der Vogel manchmal auf dem Wasser ist“ (Piaget et al., 1977). Die Annahme, dass Kinder bis zum 12. Lebensjahr durch irrelevante Oberflächenmerkmalen geleitet seien und eher auf diese als auf strukturelle Ähnlichkeiten und gleiche Relationen achteten (siehe auch Levinson & Carpenter, 1974; Lunzer, 1965), blieb lange Zeit bestehen.

Zwar operationalisieren Aufgaben der beschriebenen Art Analogien sehr direkt, ihre ökologische Validität erscheint jedoch eher gering. Auch enthält die Aufgabe einen recht hohen Verbalanteil. Dies könnte es für jüngere Kinder erschweren, die Instruktion zu verstehen. Ein geringes Aufgabenverständnis könnte daher mit der Fähigkeit, Analogien bilden zu können konfundiert sein.

Hinzu kommt, dass in formalen Analogieaufgaben die Relationen zwischen den einzelnen Elementen nicht spezifiziert werden. Sie müssen vielmehr selbst erschlossen werden (siehe Singer-Freeman & Bauer, 2008; Singer-Freeman, 2005; Sternberg, 1977). Tritt hierbei ein Fehler auf, so kann die korrekte Analogie nicht gefunden werden. Bereits bei der Enkodierung der einzelnen Elemente könnte es zu Fehlern kommen, die das korrekte Inferieren der Relation unmöglich machen (z.B. Vogel : Nest :: Hund : Hundehütte, Kind sieht im Nest Eier und inferiert als Relation ‚Nachwuchs‘, siehe Goswami & Brown, 1990, S. 222).

2.6.3. Analoge Problemlöseaufgaben

Ab den 1980er Jahren wurden auch andere Methoden eingesetzt, die alltäglichen Erfahrungen deutlich näher kamen. Man nutzte zunehmend Problemlöse-Paradigmen, bei denen Lösungen von einer Situation auf eine neue, unbekannte übertragen werden mussten. Dies

erforderte auch den Gebrauch von Werkzeugen. Grundlegend hierfür waren Arbeiten aus der Erwachsenenforschung von Gick und Holyoak (1980), bei denen Probanden eine Geschichte über eine Militäroperation (Attack-Dispersion Story) auf ein neues, medizinisches Problem übertragen sollten (Dunckers Strahlenproblem, bei dem ein Tumor zerstört, aber möglichst wenig gesundes Gewebe Schaden nehmen sollte; siehe Duncker, 1935).

Holyoak, Junn und Billman (1984) entwickelten aus diesem Paradigma ein Design, mit dem bereits drei- bis vierjährige Kinder getestet werden konnten. Ziel war es, Gummikugeln von einem Behälter in einen zweiten, leeren Behälter außer Reichweite zu transportieren. Hierzu standen verschiedene Hilfsmittel zur Verfügung: ein Wanderstock aus Aluminium, ein großes, rechteckiges Stück Pappe, eine Pappröhre, die genau bis zum zweiten Behälter reichte, eine Schere, ein Seil, Klebeband, Büroklammern und Gummiringe. Die Kinder konnten die Aufgabe auf unterschiedliche Weise lösen. Verbale Antworten waren nicht nötig. Ehe die Kinder beginnen durften, hörten sie eine analoge Geschichte über einen Flaschengeist, der Juwelen von seiner in eine andere Flasche transportieren wollte. In einer Version der Geschichte nutzte er seinen Zauberstab, um die zweite Flasche in Reichweite zu ziehen und füllte die Juwelen dann in die zweite Flasche um. In einer zweiten Version der Geschichte nutzte der Flaschengeist seinen magischen Teppich, den er zu einem Rohr zusammenrollen ließ, durch welches er dann die Juwelen in die außer Reichweite stehende Flasche rutschen ließ.

Hatten die Kinder die Zauberstab-Geschichte gehört, wurde der Spazierstock häufiger genutzt als wenn in der Geschichte ein magischer Teppich eingesetzt wurde. Umgekehrt wurden die Pappröhre oder die zusammengerollte Pappe häufiger verwendet, wenn in der Geschichte der magische Teppich zum Einsatz kam. Beide Gruppen nutzten im Vergleich zur Kontrollgruppe, die keine Geschichte gehört hatte, weniger Lösungsansätze ohne Analogie. Die analogen Lösungen traten jedoch selten spontan auf. Meist nutzten die Kinder die Analogien erst, wenn sie einen Hinweis auf den Nutzen der Geschichte erhalten hatten. Interessanterweise trat spontan funktionaler Transfer auf, wenn die Kinder beide Geschichten gehört hatten. Eine hohe Oberflächenähnlichkeit zwischen beiden Situationen erhöhte die Lösungswahrscheinlichkeit. Aufgrund des geringen Stichprobenumfangs sind die Ergebnisse allerdings mit Vorsicht zu genießen.

Ähnliche Ergebnisse zeigten sich auch bei zwei bis vier Jahre alten Kindern (Crisafi & Brown, 1986). Während Zweijährige ohne Hilfe noch keinen Transfer leisten konnten, war dies einem Teil der Dreijährigen möglich, wenn sich die Situationen äußerlich sehr ähnlich waren. Mit vier Jahren gelang es den meisten Kindern, spontan funktionalen Transfer zu zeigen, auch wenn die Oberflächeninformationen deutlich von der bekannten Situation abwichen.

2.6.4. Relational Shift, Relational Primacy und Informationsvalidität

Schwierigkeiten beim Wissenstransfer im Kleinkind- und Vorschulalter scheinen vor allem dann aufzutreten, wenn perzeptuell auffällige, aber irrelevante Aspekte (Objektaussehen) im Konflikt mit relevanten strukturellen Relationsinformationen stehen (d.h. Relationen zwischen Objekten). Gentner und Toupin (1986) beschrieben als erste dieses Problem und bezeichnen den erforderlichen Abbildungsprozess als *Cross-Mapping*. Schwierigkeiten beim Cross-Mapping zeigten sich sowohl in Bilder-Mapping-Aufgaben (Gentner & Rattermann, 1991: drei bis vier Jahre) als auch in analogen Problemlöseaufgaben (z.B. Pierce & Gholson, 1994: vier bis sechs und sechs bis acht Jahre).

Gentner (1988) geht davon aus, dass sich die Fähigkeit zum Cross-Mapping im Laufe des Vorschul- und Schulalters deutlich verändert. Sie spricht von einem *Relational Shift*, einem Aufmerksamkeitswechsel von der vorwiegenden Beachtung perzeptueller Merkmale und Oberflächenähnlichkeiten hin zur Beachtung von Relationen zwischen Objekten. Im Gegensatz zu strukturellen Ansätze wie dem Piagets (1954; siehe auch Levinson & Carpenter, 1974; Lunzer, 1965; Piaget et al., 1977), geht der Relational-Shift-Ansatz jedoch davon aus, dass diese Entwicklung nicht alters- und reifungs-, sondern vielmehr wissens- und erfahrungsgebunden ist. In einigen Studien zeigte sich tatsächlich eine deutliche Entwicklung im Sinne des Relational Shift im Vorschulalter (Gentner, 1988; Pierce & Gholson, 1994; Rattermann & Gentner, 1998; siehe auch Sobel et al., 2007).

Entgegen der Annahme eines Aufmerksamkeitsfokuswechsels geht der *Relational-Primacy*-Ansatz (Goswami, 1991, 1992, 1995) davon aus, dass es theoretisch sogar im Säuglingsalter möglich sei, Relationen zu erkennen, sofern die Wissensbasis dafür vorhanden sei. Auch hier spielt das vorhandene Wissen über die Relationen also die entscheidende Rolle. Bei Cross-Mapping-Aufgaben ist demnach funktionaler Wissenstransfer möglich, unter der Voraussetzung, dass ausreichend Erfahrung mit den involvierten Relationen vorliegt und dass eher simple Stimuli zum Einsatz kommen.

Der Relational-Primacy-Ansatz betont, dass die Oberflächenähnlichkeit zweier Situationen oder Systeme nur einer unter vielen Faktoren sei, der die Analogiebildung beeinflusst. Sie nehme keine Sonderstellung ein (Goswami & Brown, 1990; Goswami, 1992). In diesem Punkt liegt wohl der deutlichste Unterschied zum Relational-Shift-Ansatz.

Viele Befunde sprechen für die Bedeutung des vorhandenen relationalen Wissens. So war es beispielsweise bereits dreijährigen Kindern möglich, formale Bildanalogien zu lösen, sofern diese aus bekannten Objekten bestanden (z.B. Knete : geschnittene Knete :: Apfel : geschnittener Apfel; Goswami & Brown, 1989). In der Aufgabe sollten drei, sechs und neun Jahre alte Kinder

ein korrektes Bild aus fünf Alternativen auswählen, unter denen es auch perzeptuell ähnliche Distraktoren („Mere appearance matches“; z.B. Apfel – Ball) oder assoziative Alternativen (z.B. Apfel – Banane) gab. Auch wenn die Lösungshäufigkeit mit dem Alter anstieg, gelang allen Gruppen überzufällig häufig die Auswahl der korrekten Alternative. Es ergab sich außerdem eine Korrelation zwischen der Anzahl korrekter Lösungen und der Leistung in einem Wissenstest über die relevanten Relationen (vgl. auch Ergebnisse zu kausalen Transformationen, Gelman et al., 1980, siehe Kapitel 2.4.3., S. 50).

Auch wenn das Originalmaterial von Piaget et al. (1977) derart modifiziert wurde, dass nur bekannte Relationen genutzt wurden (Robertson, 1993; zit. nach Tzuriel & George, 2009), waren im Gegensatz zu den Ergebnissen von Piaget et al. auch Dreijährige in über 50% der Fälle erfolgreich. Fünfjährige konnten die Analogien sogar in über 80% der Fälle lösen.

Darüber hinaus fällt elf Jahre alten Kindern das Lösen abstrakter Analogien mit geometrischen Formen anscheinend deutlich schwerer als das Bearbeiten von Analogien mit bekannten Bildern mit Alltagsbedeutung (Richardson & Webster, 1996).

Auch in neueren Studien zeigt sich, dass bei Erfahrung mit den in formalen Analogien genutzten Relationen bereits deutlich früher eine Lösung dieser Art von Aufgabe möglich ist. Erfahrung mit der involvierten Relation zwischen A und B, etwa durch Konfrontation mit verschiedenen Beispielen, ansprechendes Testmaterial und mehrere Testdurchgänge, erleichtern die Inferenz der Relation. Unter diesen Voraussetzungen sind bereits 24 bis 30 Monate alte Kinder in der Lage, selbst bei formalen Analogieaufgaben korrekte Lösungen zu finden (Singer-Freeman & Bauer, 2008; Singer-Freeman, 2005).

Werden Werkzeugaufgaben genutzt, die weder hohe verbale Anforderungen stellen, noch unbekannte Relationen involvieren, so zeigen sich bereits im Säuglings- und Kleinkindalter erste Kompetenzen, Analogien zu nutzen und funktionalen Transfer zu zeigen, ohne sich von auffälligen aber irrelevanten Merkmalen fehlleiten zu lassen.

In einer Studie von Brown (1990) lernten 18 bis 36 Monate alte Kinder, ein attraktives Spielzeug mit Hilfe eines Werkzeugs, das ein hakenartiges Endstück besaß, in Reichweite zu ziehen. Im Anschluss daran erhielten die Kinder neue Werkzeuge (siehe Abbildung 8). Bereits den jüngsten der getesteten Kinder war es möglich, ein funktionales Werkzeug auszuwählen und dabei alternative Werkzeuge zu ignorieren, deren Farbe und Musterung dem korrekten Trainingswerkzeug entsprach, die jedoch kein funktionales Endstück besaßen oder zu weich waren.

Zu ähnlichen Ergebnissen kam eine Studie von Chen, Sanchez und Campbell (1997), bei der 13 Monate alte Kinder in einer vereinfachten Version der Aufgabe funktionale Informationen

auf neue, perzeptuell leicht verschiedene Situationen übertragen konnten. Sie lernten zunächst, ein Problem durch die Kombination von Teilzielen zu lösen und erhielten bei Bedarf auch eine Demonstration. Ein Hindernis musste zuerst aus dem Weg geräumt werden, ehe an einer Decke gezogen werden konnte und schließlich an einem Seil, um an ein attraktives Spielzeug zu gelangen. Anschließend wurde das Kind an einen anderen Ort gebracht und erhielt zwei weitere Aufgaben desselben Typs, die sich jedoch hinsichtlich ihrer Oberflächenmerkmale von der vorigen Situation unterschieden. Auch erfolgte keine Lösungsdemonstration mehr.

Trainingsphase



Transferphase

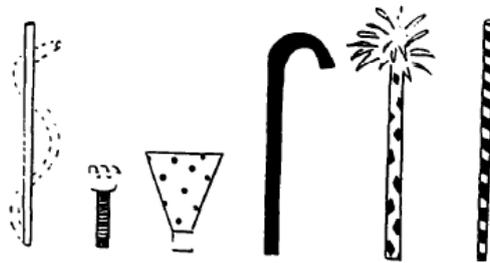


Abbildung 8. Beispiele für zur Wahl stehende Werkzeuge in der Trainings- (oben) und Transferphase (unten), Bildquelle: Brown (1990)

Eine weitere Erklärung des unterschiedlichen Nutzens relationaler und perzeptueller Informationen im Laufe der Entwicklung, wie auch in unterschiedlichen Kontexten, entwarfen Opfer und Bulloch (2007; siehe auch Bulloch & Opfer, 2009). Sie merken an, dass weder perzeptuelle noch relationale Information stets die wichtigere und sinnvollere Information sei. Vielmehr sei es kontextabhängig, welche dieser Informationen relevanter, valider für die Lösung eines Problems sei. So seien beispielsweise bei der korrekten Zuordnung von Nachwuchs zu einer Tierkategorie relationale Informationen relevanter (z.B. gleicher Ursprung => gleiche Art), da Individuen sich äußerlich deutlich unterscheiden könnten und das Aussehen somit ein weniger

valider Hinweis auf die Kategorienzugehörigkeit sei als die Herkunft (z.B. Delfin und Schwertfisch sehen sich ähnlich, gehören aber zu unterschiedlichen Kategorien). In anderen Kontexten, beispielsweise bei der Bestimmung von Beute, sei jedoch vielmehr perzeptuelle Information (d.h. das Aussehen der Beute) relevant für die Zuordnung als deren Relation zum Jäger.

Wurden sechs bis acht Jahre alte Kinder mit solchen „Nachwuchs-“ und „Beute“-Problemen konfrontiert, zeigte sich tatsächlich, dass je nach Situation eher perzeptuelle oder relationale Informationen genutzt wurden (Opfer & Bulloch, 2007). Die Autoren nehmen an, dass in der frühen Kindheit keine Entwicklung von perzeptueller Gebundenheit hin zum Nutzen von Relationen stattfindet, sondern dass vielmehr die Sensitivität für die prädiktive Validität bestimmter Ähnlichkeitsinformationsarten mit der Erfahrung zunehme. Je nach Erfahrung und Wissensgrundlage sei es daher auch domänenspezifisch, wann augenscheinliche „Shifts“ erfolgen (siehe Bulloch & Opfer, 2009).

In einer Folgestudie konnte dieser Entwicklungstrend bestätigt werden. Zwischen drei und fünf Jahren nahm die Nutzung relationaler Informationen im Vergleich zu Oberflächenähnlichkeiten bei „Nachwuchs“-Problemen zu, wohingegen bei „Beute“-Problemen die Nutzung von Relationen zugunsten perzeptueller Ähnlichkeitsinformationen abnahm (Bulloch & Opfer, 2009).

Diese Annahmen passen auch zu Beobachtungen in anderen Bereichen. Sie belegen, dass Kinder im Verlauf ihrer Entwicklung lernen, relevante von irrelevanter Information zu unterscheiden und dabei die Wissensdomäne sowie den Situations- und Aufgabenkontext mit zu beachten. Beispielsweise zeigen sich solche Befunde auch bei physikalischen Vorhersageexperimenten (siehe Balkenwaagenstudien von Siegler, 1981; Kräfteinteraktionsproblem von Pauen & Wilkening, 1997). Darüber hinaus verdeutlichen sie die flexible Anpassungsfähigkeit an neue Situationen durch die kontextabhängige Nutzung verschiedener perzeptueller und relationaler Strategien (siehe auch „Theorie überlappender Wellen“, Siegler, 1996; Chen & Siegler, 2000; Siegler, 2000).

2.6.5. Mikrogenetische Ansätze

Siegler (2007) betont im Zusammenhang mit seiner Theorie überlappender Wellen (Siegler, 1996), dass Entwicklung ein Wettkampf des „Vor und Zurück“ sei und kein einfacher Vorwärtsmarsch. Es kämen verschiedene Strategien zum Einsatz, alte und neue. Um sich weiter zu entwickeln, müsse ein System erst destabilisiert werden (siehe auch Dynamic-Systems-Theorie,

Smith & Thelen, 2003). Diese Verhaltensvariabilität zeige sich nicht auf globaler Ebene. Es sei daher wichtig, sich den Entwicklungsprozess engmaschiger anzuschauen, nicht nur in Jahres- oder Monatsschritten, sondern gar über einzelne Durchgänge hinweg. Entwicklung finde auch während der Bearbeitung einer Aufgabe statt.

Mikrogenetische Ansätze untersuchen Verhalten auf Basis einzelner Versuchsdurchgänge und ermöglichen es so, ein genaueres Bild von Lern- und Veränderungsprozessen zu zeichnen (siehe Kuhn, 1995).

Tunteler und Resing (2002) nutzten die mikrogenetische Methode und untersuchten über sechs Wochen hinweg Veränderungen der spontanen Analogiebildung im Alter von vier Jahren. Die Kinder erhielten Analogieübungen zu Hause, bei denen sie zunächst eine Basisgeschichte hörten, in der ein Problem gelöst wurde. Im Anschluss daran sollten sie unter Zuhilfenahme von Werkzeugen ein strukturell ähnliches Problem lösen. Hierbei gab es Werkzeuge, die dem in der Geschichte genannten funktional ähnelten, sich äußerlich jedoch unterschieden. Außerdem konnten auch alternative funktionale Werkzeuge genutzt werden.

Die Kinder nutzten überzufällig häufig ein analoges Werkzeug. Die spontane Transferleistung unterschied sich nicht zwischen Kindern, mit denen ein solches Training zu Hause durchgeführt worden war und Kindern, die keinerlei Training erhalten hatten. Allerdings steigerte sich die Leistung der Experimentalgruppe im Verlauf der sechs Wochen deutlich. Zum letzten Messzeitpunkt zeigten sie deutlich bessere Leistungen als die Kontrollgruppe. Der Leistungsanstieg vollzog sich sukzessive. Im Einklang mit Sieglers Theorie überlappender Wellen zeigte sich eine große intraindividuelle Variabilität hinsichtlich des Nutzens der Analogie über den Erhebungszeitraum hinweg. In einer Folgestudie ergaben sich ähnliche Befunde auch mit fünf bis acht Jahre alten Kindern (Tunteler & Resing, 2007).

Lange Zeit wurde die mikrogenetische Methode vorwiegend in Studien mit Vorschul- und Schulkindern genutzt. Für Kleinkinder schien diese Methode weniger geeignet, da sie eine eher geringe Aufmerksamkeitsspanne aufweisen und noch über begrenzte verbale Fähigkeiten verfügen. Chen und Siegler (2000) analysierten erstmals auf der Basis einzelner Durchgänge die Lern- und Transferfähigkeit von Kleinkindern (18 bis 35 Monate) in einer Analogieaufgabe. Sie nutzten hierfür in Anlehnung an Brown (1990) eine Aufgabe, bei der ein Spielzeug mit Hilfe eines Werkzeugs in Reichweite gezogen werden musste und die somit keine verbalen Anforderungen stellte und äußerst motivierend war. Es standen in einer Trainingsphase (Problem A), die aus fünf Durchgängen bestand, sechs Werkzeuge zur Auswahl, von denen jedoch nur eines funktional war (d.h. lang genug und mit einem entsprechenden Endstück versehen). Im Anschluss an die Trainingsphase wurde das Spielzeug durch ein neues ausgetauscht. Auch

wurden neue Werkzeuge zur Auswahl gestellt. Einige davon wiesen ähnliche Oberflächenmerkmale auf wie das zuvor funktionale Werkzeug (z.B. gleiche Farbe oder Musterung), wohingegen andere keine solchen Merkmale mit dem korrekten Trainingswerkzeug teilten. Das nun funktionale Werkzeug teilte ebenfalls keine äußeren Attribute mit dem zuvor korrekten Hilfsmittel.

Auch hier stützten sich die Kinder bei der Wahl eines Werkzeugs nicht nur auf eine Strategie (z.B. perzeptuell oder relational). Sie nutzten stattdessen mehrere Strategien parallel. Zwar waren ihre Handlungen teilweise von perzeptuellen Merkmalen beeinflusst (z.B. wurden unter ineffizienten Werkzeugen eher jene gewählt, die Oberflächenmerkmale mit dem zuvor korrekten Werkzeug teilten). Nichtsdestotrotz nutzten sie auch relationale Informationen und zeigten funktionalen Wissenstransfer. Die Kinder passten ihr Verhalten flexibel über die Durchgänge hinweg an. So kam es in späteren Transferdurchgängen seltener zu den oben beschriebenen perzeptuellen Fehlern. Ohne ein mikrogenetisches Vorgehen wäre das äußerst adaptive Verhalten, das bereits mit 18 Monaten auftrat, wohl unentdeckt geblieben.

Allerdings gibt es auch Befunde, die Grenzen flexiblen Transfers funktionaler Informationen und der Anpassung an neue Situationen im Kleinkindalter aufzuzeigen scheinen. Baker und Keen (2007) verwendeten eine Problemlöseaufgabe, bei der ein kleines attraktives Spielzeug aus einem transparenten Rohr gestoßen werden sollte. Hierzu benötigte man einen Stab, der lang genug war. 30 bis 32 Monate alte Kinder durften in einer Trainingsphase, die aus sechs Durchgängen bestand, jeweils einen von drei Stäben auswählen. Nur der längste Stab besaß die richtige Länge, um an die Kugel zu gelangen. Die Aufgabe schien den Kindern zunächst nicht schwer zu fallen. 71% der Kinder wählten in der Trainingsphase das richtige Werkzeug aus. In der Transferphase erhielten die Kinder daraufhin neue Werkzeuge, die hinsichtlich ihrer absoluten Länge identisch waren. An jedem Stab war jedoch an einer anderen Stelle ein Querstück angebracht, welches das komplette Einführen des Stabes verhinderte. Die relative, nicht die absolute Länge des Stabes war also entscheidend dafür, ob das Werkzeug funktional war. Auch nach sechs Durchgängen fiel die Wahl der Kinder noch immer zufällig aus. Leider wurden die Daten jedoch nicht auf mikrogenetischer Ebene ausgewertet. Eine solche Auswertung hätte wichtige Einsichten im Hinblick auf mögliche Schwierigkeiten der Verhaltensanpassung liefern können.

2.6.6. Aufgabenkomplexität und Verarbeitungskapazität

Bisherige Befunde zur Fähigkeit, funktionales Wissen auf neue Situationen zu übertragen, verdeutlichen die Abhängigkeit der Ergebnisse von Kontext und Aufgabenschwierigkeit. Einerseits weisen viele Studien auf eine sehr frühe Kompetenz hin, relationales Wissen in unterschiedlichen Analogieaufgaben nutzen zu können (z.B. Chen et al., 1997; Chen & Siegler, 2000; Singer-Freeman & Bauer, 2008). Auch wird die bereits im Kleinkindalter vorherrschende Flexibilität und Anpassungsfähigkeit deutlich, die es ermöglicht, kontextabhängig unterschiedliche Strategien zu nutzen (z.B. Bulloch & Opfer, 2009; Chen & Siegler, 2000; Siegler, 1981). Andererseits tauchen häufig noch bis ins Vorschulalter Probleme beim Beachten relevanter Informationen auf, insbesondere in Cross-Mapping-Situationen, in denen relevante Information mit irrelevanter, aber salienter, im Konflikt steht (z.B. Baker & Keen, 2007; Pierce & Gholson, 1994; Rattermann & Gentner, 1998; Sobel et al., 2007).

Die beschriebenen Studien im Kleinkindalter nutzten unterschiedliche Studiendesigns und Materialien. Die meisten erforderten es, selbst aktiv zu handeln und eine Problemlösung herbeizuführen. Angesichts der großen Unterschiede bezüglich der Aufgabenschwierigkeit zwischen den verschiedenen Aufgabentypen scheint ein direkter Vergleich der kindlichen Leistungen nicht ohne weiteres möglich. Die verwendeten Paradigmen stellen unterschiedliche motorische und kognitive Anforderungen, die vermutlich mit einer unterschiedlichen Belastung verhaltenssteuernder Prozesse (sogenannter Exekutiver Funktionen) einhergehen.

Dass solche allgemeinen Prozesse eine entscheidende Rolle beim Problemlösen und Wissenstransfer spielen, wird bereits lange angenommen. So betonte bereits Sternberg (1977) in seinem Prozessmodell der Analogiebildung die Belastung des Arbeitsgedächtnisses (siehe Kapitel 2.6.2., S. 66), einer zentralen Komponente der Exekutiven Funktionen.

Auch Informationsverarbeitungsansätze betonen, dass die Verarbeitungskapazität ein wichtiger Faktor bei der Entwicklung des Denkens in Analogien sei. Halford et al. (1998) sehen in der Anzahl parallel verarbeitbarer Relationen sogar ein Maß für die Arbeitsgedächtniskapazität. Die Komplexität einer Aufgabe sei durch die Anzahl an Relationen, die repräsentiert werden müssen, festgelegt. In einer Studie, in der Drei- bis Vierzehnjährige analoge Bildermapping-Aufgaben mit einer variierenden Anzahl an Relationen erhielten (Richland, Morrison, & Holyoak, 2006), beeinträchtigte die relationale Komplexität insbesondere die Leistung jüngerer Kinder, während mit zunehmendem Alter weniger Schwierigkeiten auftraten.

Richland et al. (2006) kritisieren, dass die einzelnen Ansätze zur Beschreibung der Entwicklung des Denkens in Analogien (Relational Primacy, Relational Shift, Verarbeitungskapazität) isoliert getestet oder als disjunkte Erklärungsmodelle angesehen wurden.

Die Ergebnisse ihrer eigenen Studien sprächen jedoch dafür, dass unterschiedliche Prozesse, insbesondere die Zunahme an Wissen über Relationen sowie die relationale Komplexität beide eine wichtige Rolle spielten. Auch eine Variation der perzeptuellen Distraktoren, also der Elemente mit hoher Oberflächen-, aber geringer relationaler Ähnlichkeit, veränderte die Leistungsbilanz jüngerer Kinder deutlich.

Studien mit Schulkindern, die formale Analogien mit abstrakten Formen nutzten (Thibaut, French, & Vezneva, 2010) weisen in die gleiche Richtung und unterstreichen die Bedeutung der Anforderungen an die Verarbeitungskapazität und den Einfluss perzeptueller Distraktoren.

Richland et al. (2006) gehen davon aus, dass die Zunahme an Inhibitionsvermögen und Arbeitsgedächtniskapazität zentral für die Entwicklung der Informationsverarbeitung und somit auch des Analogiebildens ist. Mit der zunehmenden Fähigkeit, dominante Impulse zu unterdrücken, können auch saliente Distraktoren unterdrückt werden, zugunsten der Wahl eines nicht-dominanten, aber korrekten Reizes. Die Zunahme der Arbeitsgedächtniskapazität hingegen ermögliche es, immer komplexere Relationen zu verarbeiten. Diese Interpretation steht im Einklang mit Ergebnissen aus Studien mit Patienten mit präfrontaler Hirnschädigung, die Inhibitions- und Arbeitsgedächtnisdefizite aufwiesen (Morrison et al., 2004). Die Fehlerstruktur der Probanden war dem Fehlermuster der jüngeren Kinder sehr ähnlich (siehe auch Krawczyk et al., 2008).

Ob Arbeitsgedächtniskapazität und Inhibitionsfähigkeit für die Informationsverarbeitung und das Lösen relational komplexer Probleme bedeutsam sind, wurde mittlerweile auch in Computersimulationsstudien getestet. Die Daten von Richland et al. (2006) konnten mit Hilfe des Computersimulationsprogramms LISA (Hummel & Holyoak, 1997) erfolgreich modelliert werden. Systematische Veränderungen des Inhibitionsniveaus im Arbeitsgedächtnis des Modells konnte die zunehmende Fähigkeit der Kinder erklären, auch mit komplexeren Relationen und mehr Distraktoren umgehen zu können (Morrison, Dumas, & Richland, 2011).

Arbeitsgedächtnis und Inhibition, die anscheinend eine wichtige Rolle bei der Verarbeitung von Analogien spielen, sind zwei grundlegende Elemente der Exekutiven Funktionen, die vielfach als Prozesse zur Regulierung zielgerichteten Verhaltens beschrieben werden (z.B. Diamond, 2013; Garon et al., 2008; Miyake et al., 2000). Theoretische Ansätze zur Beschreibung der Exekutiven Funktionen könnten auch für das Verständnis der Entwicklungsprozesse im Rahmen der Analogiebildung hilfreich sein.

Die *Cognitive-Complexity-and-Control*-Theorie (CCC-Theorie, Frye, Zelazo, & Burack, 1998; Zelazo & Frye, 1998; Zelazo, Müller, Frye, & Marcovitch, 2003) nimmt an, dass die Fähigkeit, übergeordnete Regeln repräsentieren zu können grundlegend für die Entwicklung exekutiver

Prozesse, insbesondere für das Überwinden eines Konfliktes zwischen zwei Dimensionen, ist. Sie stellt somit eine Verbindung zwischen dem Ansatz relationaler Komplexität (d.h. Informationsverarbeitungskapazität) und den Relational-Shift-Befunden her. Der Umgang mit einem Konflikt in analogen Cross-Mapping-Aufgaben fällt Kleinkindern demnach schwer, weil er die Anwendung einer übergeordneten Regel erfordert, was wiederum mit höheren Informationsverarbeitungsbelastungen einhergeht.

Die Zusammenhänge zwischen Exekutiven Funktionen und dem Transfer funktionalen Wissens sowie möglicher Probleme beim Cross-Mapping im Kleinkindalter wurden zuvor noch nie in *einer* Studie untersucht. Ziel der vorliegenden Arbeit war es, diese Forschungslücke zu schließen. Zur Verdeutlichung der genauen Zielsetzung wird im Folgenden das Konstrukt der Exekutiven Funktionen näher erläutert.

3. Exekutive Funktionen

3.1. Definition und Theoretische Ansätze Exekutiver Funktionen

3.1.1. Definition

“It is not too strong to conclude that the field of EF as it now stands contains a veritable dog’s breakfast of diverse definitions and concepts that continue to hinder further advances in this field of inquiry. If EF is to be a useful construct or umbrella construct, it must stand on its own conceptual legs [...].”

-- Russell A. Barkley (2014)

Bereits Ende des 19. Jahrhunderts begannen Neurologen damit, Prozesse der Verhaltenssteuerung genauer zu untersuchen. Im Interesse standen insbesondere Hirnschädigungen, die mit Problemen der Anpassungsfähigkeit und Verhaltenssteuerung einhergehen (Ferryhough, 2010). Vor allem Läsionen im Frontalhirnbereich schienen hierbei eine bedeutsame Rolle zu spielen. Der berühmte Fall von Phineas P. Gage (Harlow, 1848, 1868), einem jungen Schienenarbeiter, dessen Wesen sich aufgrund frontaler Hirnschädigungen durch einen Unfall deutlich veränderte, stieß auf reges Interesse. Er zeigte deutliche Einbußen hinsichtlich seiner Impulskontrolle, Planung und Verhaltenssteuerung. Noch heute wird sein Fall vielfach zitiert, wenn es um die verhaltenssteuernde Funktion frontaler Gehirnregionen geht (siehe Kotowicz, 2007).

Auch der Begriff *Exekutive Funktionen* (EF) wurde durch neurologische Untersuchungen geprägt. Karl H. Pribram (1973) beschrieb den frontalen Kortex erstmals als „critically involved in implementing executive programs when these are necessary to maintain brain organization in the face of insufficient redundancy in input processing and in the outcomes of behavior“ (Pribram, 1973, S. 312; für einen genaueren geschichtlichen Abriss siehe auch Barkley, 2012).

Das Frontalhirn zeichnet sich durch seine ungewöhnlich lange Entwicklungsphase aus, die von den ersten Lebensjahren bis ins junge Erwachsenenalter reicht (Best & Miller, 2010; Diamond, 2002; Garon et al., 2008; Sowell et al., 2003). Dies geht einerseits mit einer erhöhten Anfälligkeit für Verletzungen einher. Andererseits zeichnet sich dieser Bereich des Gehirns durch seine hohe Plastizität aus. Bis ins junge Erwachsenenalter scheinen Stärkung und Reorganisation von synaptischen Verbindungen durch bestimmte Erfahrungen möglich zu sein, was sich deutlich auf die Verhaltenssteuerung auswirken kann (z.B. Kolb et al., 2012).

Auch neuere Studien weisen immer wieder auf die Bedeutung frontaler Regionen für exekutive Prozesse hin (Stuss, 2011). Allerdings sind bei der Verhaltenssteuerung stets auch andere Gehirnregionen aktiv. So zeigte eine Metaanalyse von Alvarez und Emory (2006), dass frontale Gehirnareale zwar sensitiv für typische Exekutive Funktionsaufgaben zu sein scheinen (z.B. der Wisconsin Card Sorting Test (WCST), Grant & Berg, 1946), gleichzeitig aber auch eine Aktivierung anderer Gehirnregionen (z.B. im inferioren Parietalkortex, in parietalen Regionen oder in den Basalganglien) stattfindet.

Hinzu kommt, dass viele Ergebnisse zu Aktivierungsmustern während exekutiver Aufgaben klinischen Studien entstammen und somit auf Daten von Personen mit häufig nicht genau lokalisierbaren Schädigungen in diesem Gehirnbereich oder anderweitigen kognitiven Defiziten beruhen (Stuss, 2011). Umgekehrt muss eine Schädigung frontaler Regionen nicht zwingend mit exekutiven Einbußen einhergehen. Exekutive Funktionen sollten daher keinesfalls mit frontalen Hirnprozessen gleichgesetzt werden (Stuss & Alexander, 2000; Stuss, 2011). Der Frontalkortex, der etwa ein Drittel unseres Gehirnvolumens ausmacht, dient auch vielen anderen Funktionen, wie beispielsweise der Initiation von Verhalten (Energetisierung) und der Integration von Informationen aus vielen weiteren Gehirnregionen (Stuss, 2011).

Bereits Luria (1966/1980, zit. nach Fernyhough, 2010) ging davon aus, dass exekutive Prozesse auf einer Interaktion hierarchisch organisierter Subsysteme basierten, deren neurologische Basis über das gesamte Gehirn verstreut sei. Er erkannte darüber hinaus die Bedeutsamkeit des Kontextes und sozialer Erfahrungen für die Verhaltenssteuerung (zur Gefahr des Psychologismus und Reduktionismus siehe Martin & Failows, 2010). Inzwischen deuten viele Studien auf eine Entwicklung von der Fremdregulation durch Bezugspersonen zur selbstgesteuerten Verhaltenskontrolle hin (z.B. Bernier, Carlson, & Whipple, 2010).

Aus der Neurologie stammend hat sich das Konzept der Exekutiven Funktionen auch in anderen Bereichen der Psychologie verbreitet. Es scheint sowohl für die Grundlagen- als auch für die Anwendungsforschung, vor allem im klinischen Bereich (für einen Überblick siehe Drechsler, 2007), von großer Relevanz zu sein. In den letzten Jahrzehnten kam es zu einer regelrechten Explosion an Publikationen in diesem Bereich. Alleine in den letzten zehn Jahren waren etwa 1.500 neue Veröffentlichungen zu verzeichnen (Carlson, Zelazo, & Faja, 2013, S. 707, Abbildung 25.1).

Dennoch existiert bislang keine einheitliche Definition des Konzeptes. Die eingangs zitierte Beschreibung Barkleys (2014) zeichnet ein sehr treffendes Bild der Lage. Es gibt zahlreiche Definitionen und Aufzählungen von Prozessen, die zu den Exekutiven Funktionen gezählt werden (siehe auch Barkley, 2012; Sokol, Müller, Carpendale, Young, & Iarocci, 2010). Eslinger

(1996; zit. nach Barkley, 2012) beschrieb eine Konferenz, auf der zehn Experten gebeten wurden, Begriffe zu nennen, die sie als Exekutive Funktionen klassifizieren würden. Die Experten generierten 33 unterschiedliche Begriffe! Der Begriff „Exekutive Funktionen“ scheint bis heute ein „umbrella term“ (Hughes & Graham, 2002) für viele verschiedene Aspekte zu sein. Doch die Experten konnten sich auf einige wenige Begriffe einigen, die sie als zentral erachteten. Und auch in anderen Definitionen finden sich einige Übereinstimmungen. Immer wieder ist die Rede von der Zielgerichtetheit des Verhaltens, von Flexibilität, Anpassungsfähigkeit, Planung und der Kontrolle von Impulsen.

In der vorliegenden Arbeit sollen Exekutive Funktionen als Prozesse der zielgerichteten, flexiblen Gedanken-, Gefühls- und Verhaltenskontrolle und -modifikation verstanden werden. Relevant sind sie vor allem in neuen, unbekannteren Situationen, in denen automatische Gewohnheitsreaktionen keine Problemlösung herbeiführen können und automatische Impulse modifiziert werden müssen. Exekutive Funktionen bilden die Grundlage für Verhaltensplanung und -anpassung.

Abzugrenzen sind sie vom Konstrukt der *Effortful Control* (Rothbart, 1989; siehe auch Eisenberg, Smith, & Spinrad, 2011; Kochanska & Knaack, 2003; Kochanska, Murray, & Harlan, 2000; Posner & Rothbart, 2000), das sich ebenfalls auf Aspekte der Verhaltenskontrolle bezieht und große Überlappungen mit dem Konzept der Exekutiven Funktionen zeigt (Bridgett, Oddi, Laake, Murdock, & Bachmann, 2013; Liew, 2012; Zhou, Chen, & Main, 2012). Rothbart (1989) beschreibt Effortful Control als Fähigkeit, einen dominanten Impuls in der unmittelbaren Umgebung zugunsten eines mental repräsentierten Ziels zu unterdrücken. Die Aufmerksamkeitsentwicklung wird dabei als zentrales Element gesehen, insbesondere die sich entwickelnde Fähigkeit, Aufmerksamkeit über längere Zeit aufrecht zu erhalten und willentlich zu lenken.

Während sich Effortful Control (EC) auf einen bereits sehr früh entwickelten und recht stabilen Temperamentsaspekt der Verhaltenskontrolle bezieht (Kochanska & Knaack, 2003; Liew, 2012), entwickeln sich die Exekutiven Funktionen noch bis ins Erwachsenenalter weiter (Diamond, 2002; Sowell et al., 2003) und gelten als modifizierbar (Diamond & Lee, 2011; Diamond, 2012). Einige Autoren sehen Effortful Control auch als Teil der Exekutiven Funktionen (Diamond, 2013; Fuster, 2008).

Im Rahmen der Erforschung von Verhaltensmodifikationsprozessen ist außerdem immer wieder die Rede von *Selbstregulation*. An vielen Stellen werden die Begriffe Selbstregulation und

Exekutive Funktionen gar synonym verwendet. Es gibt äußerst unterschiedliche Entwürfe zur Relation zwischen Selbstregulation und Exekutiven Funktionen (z.B. Diamond, 2013; Hofmann, Schmeichel, & Baddeley, 2012). In der vorliegenden Arbeit wird Selbstregulation als übergeordneter Begriff verstanden, der neben der bewussten, zielgerichteten Verhaltenskontrolle auch automatische, selbstregulative Prozesse im Sinne der physischen Selbstregulation (z.B. automatische Regulation von Körperfunktionen) beinhaltet.

Um die Entwicklung Exekutiver Funktionen genauer untersuchen zu können, ist es sinnvoll, sich dem Konstrukt zunächst theoretisch anzunähern. Nur so können sinnvolle Operationalisierungen gefunden und unterschiedliche Studienergebnisse miteinander verglichen werden. Auch hier gibt es zahlreiche Modellannahmen. An dieser Stelle soll nur ein knapper Überblick über theoretische Ansätze Exekutiver Funktionen gegeben werden. Martin und Failows (2010) teilen die existierenden Theorien in mehrere Gruppen ein (ähnliche Einteilung auch bei Garon et al., 2008; Stelzer, Mazzoni, & Cervigni, 2014).

3.1.2. Narrowing-Ansätze

Einige Ansätze rücken einen Aspekt Exekutiver Funktionen in den Fokus oder sehen das Konstrukt als Einheit oder übergeordneten Verarbeitungsmechanismus. Dies dient in erster Linie der Vereinfachung (Martin & Failows, 2010).

Eines der bekanntesten Modelle dieser Art stellt das Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley und Hitch (1974, siehe auch Baddeley, 1992, 2003, 2012) dar. Die Autoren sehen das Arbeitsgedächtnis als Verbindungsstück zwischen Wahrnehmung, Langzeitgedächtnis und Handlung. Es speichert relevante Informationen temporär. Da seine Kapazitäten begrenzt sind, müssen die Informationen aktualisiert werden, so dass aktuell relevante Information abgerufen werden kann. Diese Einschränkung der Verarbeitungskapazität, die mit Selektions- und Aktualisierungsprozessen einhergeht, grenzt ihr Modell von früheren Kurzzeitgedächtnismodellen ab. Darüber hinaus wurde das Arbeitsgedächtnis bei Baddeley und Hitch (1974) nicht als Einheit gesehen, sondern als Zusammenspiel aus mehreren Komponenten oder Modulen.

Das ursprüngliche Modell beinhaltete drei Komponenten: die zentrale Exekutive, die phonologische Schleife und den visuo-räumlichen Notizblock. Die *zentrale Exekutive* kann als Steuerorgan gesehen werden. Sie ordnet Vorgänge nach deren Priorität, verteilt, fokussiert und wechselt die Aufmerksamkeit, speichert neue Inhalte ins Langzeitgedächtnis und ruft relevante Inhalte ab. Zwischen Einspeicherung und Abruf muss zudem flexibel gewechselt werden. Der

zentralen Exekutiven wird auch eine wichtige Bedeutung beim Sprachverständnis und der Sprachproduktion zugesprochen. Baddeley räumt ein, dass es sich bei der exekutiven Komponente seines Modells um die bisher am wenigsten verstandene handelt (Baddeley, 2003).

Die phonologische Schleife und der visuo-räumliche Notizblock können als modalitätsspezifische Untersysteme („Slave Systems“, Baddeley, 1992, S. 557) gesehen werden. Die *phonologische Schleife* ist besonders bedeutsam für Sprachprozesse. Sie speichert kurzzeitig, d.h. für wenige Sekunden, auditive Informationen. Dies geschieht durch subvokale, also innerliche, nicht hörbare Artikulationsprozesse, die das Wahrgenommene wiederholen, innerlich aufsagen (Rehearsal). So können Gedächtnisspuren aufgefrischt werden.

Der *visuo-räumliche Notizblock* kann als Äquivalent zur phonologischen Schleifen gesehen werden. Er dient der begrenzten, kurzzeitigen Speicherung und Koordination visueller und räumlicher Informationen und soll auch an der Generierung räumlicher Vorstellungen beteiligt sein (vgl. Baddeley, 2012).

In einer Revision seines Modells integrierte Baddeley (2000, zit. nach Ropeter, 2011) eine weitere Komponente, den *episodischen Puffer*. Das ursprüngliche Modell sah keine Verbindung der beiden Subsysteme vor und konnte Phänomene wie beispielsweise das Zusammenfassen mehrerer Informationseinheiten in größere Teile (Chunking) nicht erklären (siehe Baddeley, 2003). Der episodische Puffer verbindet die Informationen beider Subsysteme und bildet daraus Episoden, die weniger Speicherkapazität benötigen.

Das beschriebene Arbeitsgedächtnissystem enthält im Wesentlichen auch die anderen zuvor genannten Aspekte Exekutiver Funktionen. Als eine Aufgabe der zentralen Exekutive wurde der flexible Aufmerksamkeitsfokuswechsel beschrieben (vgl. Set-Shifting, Kapitel 3.2.3., S. 99). Besonders wichtig ist auch die Aktualisierung von Information. Damit aktuell relevante Informationen kurzzeitig präsent sind, müssen irrelevante Informationen unterdrückt werden (vgl. Inhibition, Kapitel 3.2.1., S. 91).

Norman und Shallice (1986) trennen in ihrem Modell explizit zwischen automatischen und bewussten Steuerungsprozessen. In vertrauten Situationen werden demnach automatisch passende Handlungsoptionen (Schemata) aktiviert und unpassende gehemmt. Der sogenannte *Contention Scheduler* wähle daraufhin das meistaktivierte Schema aus. In neuen, unbekanntem Situationen hingegen, in denen gut bekannte Strategien nicht funktionieren oder mehrere Verhaltensweisen möglich wären und teilweise im Konflikt miteinander stehen, übernehme das *Supervisory Attentional System (SAS)* die Handlungssteuerung. Dieses System arbeite durch die zusätzliche Aktivierung und Hemmung von Handlungsschemata und steuere somit die Auswahl der Handlungsoption durch den Contention Scheduler. Auch motivationale Aspekte spielen bei

der Aktivierung und Hemmung von Schemata eine wichtige Rolle. Im Gegensatz zu Baddeleys Modell gibt es keine modalitätsspezifischen Subsysteme. Entscheidend ist die Aufmerksamkeitsverteilung.

Einen anderen Aspekt betont Duncan (1986), der die Auswirkungen frontaler Schädigungen auf das menschliche Verhalten beschreibt und daraus ein Modell Exekutiver Funktionen ableitet, das die Aufrechterhaltung von Zielen in den Mittelpunkt rückt. Handlungen erhielten erst durch eine Liste an Zielen Struktur. Sie würden nach diesen geordnet und aus dem Handlungsrepertoire abgerufen. Im Sinne der Mittel-Ziel-Analyse würden die ausgeführten Handlungen und deren Resultate stets mit den erwünschten Zielen (Soll-Zuständen) abgeglichen bis keine Diskrepanz mehr bestehe und das Ziel erreicht sei. Frontale Schädigungen führten dazu, dass Ziele nicht mehr aufrechterhalten und Handlungen somit auch nicht zielgerichtet ausgewählt werden könnten. Dies führe zu einer Desorganisation des Verhaltens.

Ein weiteres Modell, das seine Ursprünge im klinisch-psychologischen Bereich hat, ist das Modell von Barkley (1997). Barkley arbeitete mit ADHS-Patienten und bezieht sein Modell explizit auf die Defizite der Patienten in den Bereichen des Arbeitsgedächtnisses, der Selbstregulation von Gefühlen und Erregungszuständen, der Internalisierung von Sprache und der Ordnung sowie der Flüssigkeit und Zielgerichtetheit von Handlungen. Die Inhibition steht hierbei im Fokus und beeinflusst die zielgerichtete und persistente Ausführung von Handlungen, ohne sich von irrelevanten Reizen ablenken zu lassen.

Neuere Narrowing-Modelle rücken, ähnlich wie bei Norman und Shallice (1986), die Aufmerksamkeitsentwicklung in den Fokus (vgl. auch Garon et al., 2008; Stelzer et al., 2014). Grundlegend hierfür sind Arbeiten von Posner und Kollegen (Posner, Rothbart, Sheese, & Voelker, 2012; Posner & Rothbart, 1998, 2000; Rueda, Posner, & Rothbart, 2005; siehe auch Hrabok & Kerns, 2010). Die Autoren sprechen von drei Komponenten, die sich maßgeblich in der frühen Kindheit entwickeln und zunehmend integriert werden. Zuerst entwickle sich das sogenannte *Alert Network*. Es sei stark mit thalamischen Regionen verknüpft und speise sensorische Informationen ein, außerdem gehören zu dem Netzwerk Teile des Mittelhirns (z.B. der Locus caeruleus), sowie parietale und frontale Bereiche. Das *Orientierungssystem* sei dagegen stärker mit temporalen und parietalen Regionen sowie dem frontalen Augenfeld verbunden. Die beiden Komponenten arbeiten vorwiegend automatisch. Mit zunehmender Entwicklung komme es zur Integration eines bewussten Netzwerkes, dem *Executive Network*. Dieses sei mit präfrontaler Aktivität, sowie mit der Aktivierung des anterioren Cingulum (ACC), des limbischen Systems und der Basalganglien assoziiert. Es entdecke Fehler und Konflikte und versuche, diese zu korrigieren bzw. zu lösen. Obwohl das Modell stark neurologisch orientiert ist, betonen die Autoren stets die

Wirkung und Bedeutsamkeit sozialer Interaktionen. Auch andere Autoren sehen in der Entwicklung der Aufmerksamkeit die Basis für alle weiteren Prozesse Exekutiver Funktionen.

Zelazo und Müller (2002) kritisieren am Narrowing-Ansatz, dass er zu stark vereinfache und der Komplexität des Konstrukts nicht gerecht werde. Darüber hinaus handle es sich bei den als zentral bewerteten Aspekten nicht unbedingt um einheitliche Konstrukte, so dass unklar bleibe, welcher Teil besonders wichtig sei. Zentrale Steuerungskomponenten (z.B. die zentrale Exekutive in Baddeleys Arbeitsgedächtnismodell, Baddeley & Hitch, 1974; Baddeley, 1992, 2003, 2012) und das Verständnis Exekutiver Funktionen als übergeordneter Verarbeitungsprozess, bringen darüber hinaus das sogenannte „Homunculus-Problem“ (Homunculus, lat. „Menschlein“) mit sich: Was steuert das zentrale Steuerelement?

Die moderne Hirnforschung geht mittlerweile davon aus, dass es ein solches Steuerorgan nicht gibt. Unser Gehirn gleiche vielmehr einem chaotisch organisierten System, das sich selbst reguliert (siehe auch Kapitel 2.4., S. 43). Dies scheint durch spontane Synchronisationsmuster unterschiedlichster Hirnregionen zu funktionieren. Eine übergeordnete Steuerzentrale, die die Aktivierung lenkt, ist nicht notwendig (z.B. Fox et al., 2005; Rösler, 2011; Singer, 2009, 2013).

Baddeley selbst sieht in der Homunculus-Konzeption kein Problem, vielmehr eine Chance. Solange wir diese Konzeption nicht als endgültige Erklärung, sondern als Markierung noch offener Fragen verstünden, könne sie äußerst hilfreich sein (Baddeley, 2012).

3.1.3. Komponentenansätze (Widening Accounts)

Einen Gegenentwurf zu Narrowing-Ansätzen bieten sogenannte Komponenten- oder Widening-Ansätze. Sie versuchen, möglichst viele Aspekte des komplexen Konstrukts zu berücksichtigen und stellen keine einzelne Komponente besonders in den Vordergrund (Martin & Failows, 2010).

Hinsichtlich der Zusammenhänge der einzelnen Komponenten gibt es unterschiedliche Ansichten und Studienergebnisse. Während einige Studien darauf hinweisen, dass einzelne Komponenten anscheinend unabhängig voneinander wirken und nicht auf denselben Ressourcenpool zurückgreifen (z.B. Beveridge et al., 2002), zeigten sich in anderen Studien substantielle Zusammenhänge dieser Faktoren (z.B. Senn, Espy, & Kaufmann, 2004).

Unity in Diversity

Der Unity-in-Diversity-Ansatz vereint die Annahmen der Unabhängigkeit und der Abhängigkeit der einzelnen Komponenten, indem er annimmt, dass die Komponenten Exekutiver Funktionen substantiell miteinander korrelieren, aber darüber hinaus auch individuelle Beiträge zur Varianzaufklärung leisten können. Zentral sind hierbei empirische Arbeiten, die diese Annahmen mit Hilfe von Strukturgleichungsmodellen testen. Eine besonders einflussreiche Studie dieser Art (Miyake et al., 2000) konnte auf diese Weise im jungen Erwachsenenalter drei Hauptkomponenten identifizieren, die immer wieder in der Literatur auftauchen: Inhibition, Arbeitsgedächtnis (oder „Updating“) und Set-Shifting.

Unter *Inhibition* versteht man das Unterdrücken dominanter Impulse zugunsten alternativer Ziele. Das *Arbeitsgedächtnis* repräsentiert aktuell relevante Informationen und aktualisiert diese ständig. *Set-Shifting* bezeichnet das flexible Wechseln des Aufmerksamkeitsfokus von einer etablierten, aber nicht mehr aktuellen, mentalen Repräsentation (einem „Mind set“) zu einer neuen, nun aktuellen Repräsentation.

Diese Drei-Komponenten-Struktur konnte mittlerweile auch in anderen Studien und mit Kindern im Schulalter weitgehend bestätigt werden (Huizinga, Dolan, & van der Molen, 2006; Lehto, Juujärvi, Kooistra, & Pulkkinen, 2003). Im jungen Schulalter wurden jedoch zumeist nur zwei Faktoren gefunden. Inhibition und Set-Shifting bildeten eine gemeinsame Komponente, die von einer Arbeitsgedächtniskomponente getrennt werden konnte (Lee et al., 2012; Lee, Bull, & Ho, 2013; Van der Ven, Kroesbergen, Boom, & Leseman, 2012).

In Studien zum Vorschulalter zeigte sich meist die beste Modellpassung, wenn eine Ein-Faktorenlösung gewählt wurde (z.B. Hughes, Ensor, Wilson, & Graham, 2010; Miller, Giesbrecht, Müller, McInerney, & Kerns, 2012; Wiebe et al., 2011; Wiebe, Espy, & Charak, 2008; Willoughby, Blair, Wirth, & Greenberg, 2010; Ein- oder Zwei-Faktorenlösung bei Miller et al., 2012). Die Struktur Exekutiver Funktionen scheint sich also von der Kindheit bis ins Erwachsenenalter zu differenzieren (Lee et al., 2013).

Im Alter zwischen zwei und drei Jahren zeigten sich in vielen Studien nur moderate oder gar keine Korrelationen zwischen einzelnen Aufgaben, die unterschiedliche Aspekte Exekutiver Funktionen abdecken sollten (Carlson, Mandell, & Williams, 2004; Carlson, Moses, & Claxton, 2004; Hughes & Ensor, 2005, 2007). Dies steht im Einklang mit Ergebnissen aus einer Längsschnittstudie zwischen 22 und 33 Monaten (Kochanska et al., 2000), die eine Zunahme der internen Konsistenz unterschiedlicher exekutiver Funktionsaufgaben in diesem Zeitraum fand.

Konfirmatorische Faktorenanalysen zur Untersuchung der Struktur Exekutiver Funktionen unter zwei Jahren fehlen bislang völlig. Diese sind jedoch dringend notwendig, um die Struktur

der Exekutiven Funktionen und deren Entwicklung über die Lebensspanne genauer zu verstehen. Problematisch erweist sich hierbei die Operationalisierung der vermuteten Komponenten. In einem Längsschnitt sollten möglichst ähnliche Aufgaben eingesetzt werden, die jedoch auch altersgemäß sind. Ein Vergleich der oben genannten Studien ist nur bedingt sinnvoll, da sich sowohl die Aufgaben als auch die Stichproben zum Teil deutlich unterscheiden.

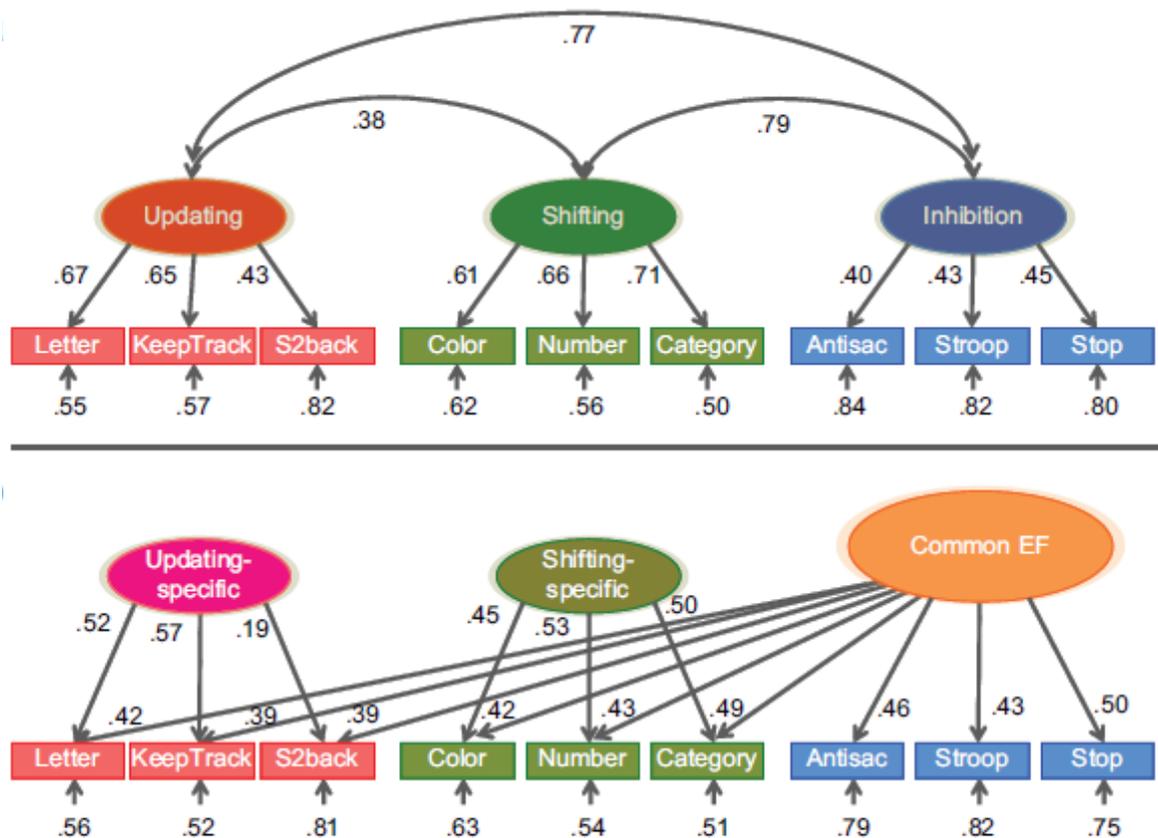


Abbildung 9. Oben: Grafische Darstellung des Drei-Faktoren-Modells von Miyake et al. (2000), in dem es einen gemeinsamen Faktor (Unity), sowie zusätzliche komponentenspezifische Faktoren (Diversity) gibt. Die Zahlen an den Pfeilen stellen die standardisierten Faktorladungen dar, d.h. den Anteil an Varianz, der durch die zugehörige latente Variable erklärt wird. Die Zahlen an den gekrümmten beidseitigen Pfeilen geben die Korrelationen zwischen den entsprechenden latenten Variablen an. Unten: Revidiertes Modell: Alle Aufgaben laden auf einem gemeinsamen Faktor, Set-Shifting- und Arbeitsgedächtnisaufgaben laden zusätzlich auf zwei separaten, komponentenspezifischen Faktoren. Für eine genauere Beschreibung der Aufgaben siehe Friedman et al. (2008), Bildquelle: Miyake & Friedman (2012).

Miyake selbst revidierte mittlerweile sein Modell (Miyake & Friedman, 2012). In Folgestudien mit Jugendlichen (Friedman et al., 2008; Friedman, Miyake, Robinson, & Hewitt, 2011) hatte sich wiederholt gezeigt, dass Set-Shifting und Arbeitsgedächtnis (Updating) zwar tatsächlich sowohl auf einem allen Komponenten gemeinsam zugrunde liegenden latenten Faktor laden, als auch signifikante eigene Varianzanteile aufwiesen, die durch eigene latente Faktoren („Nested factors“, also verschachtelte Faktoren) am besten modelliert werden konnten. Für die Inhibitionskomponente war dies nicht der Fall. Hier ergab sich eine nahezu perfekte Korrelation mit dem allgemeinen EF-Faktor und ein inhibitionsspezifischer latenter Faktor trug nicht zur Verbesserung der Modellgüte bei (siehe Abbildung 9). Jedoch bleibt auch hier offen, inwiefern sich dieses Muster in anderen Altersgruppen replizieren lässt.

Die vielfach zitierte Drei-Faktoren-Struktur nach Miyake et al. (2000) sollte also nicht zweifelsfrei hingenommen werden, da sie nicht für alle Altersbereiche eine adäquate Abbildung Exekutiver Funktionen darstellen dürfte. Dennoch ist die Einteilung äußerst brauchbar. Sie kann dabei helfen, Forschungsfragen zu präzisieren und auf einer gemeinsamen Grundlage zu arbeiten. Dies kann bereits die Vergleichbarkeit von Studien erhöhen und bei der Operationalisierung dafür sensibilisieren, genauer darauf zu achten, welchen Aspekt man mit den Aufgaben eher anspricht. In jedem Fall sollte man sich aber der Problematik bewusst sein, dass die Einteilung auch eine Einordnung und Benennung nach subjektiven Maßstäben ist, denn die Grundlage konfirmatorischer Faktorenanalysen bilden stets theoretische Annahmen und subjektive Entscheidungen.

3.1.4. Exekutive Funktionen als Problemlöseprozess

Eine sich deutlich von den bisher beschriebenen Ansätzen abhebende Sichtweise bietet der Problemlöseansatz Exekutiver Funktionen (Zelazo et al., 1997). Er legt den Fokus nicht auf den Aufbau des Konstrukts, sondern rückt seine Funktion in den Mittelpunkt. Exekutive Funktionen dienen dem Problemlösen. Die Lösung eines Problems ist das Resultat des Wirkens Exekutiver Funktionen. Zelazo und Kollegen beschreiben Exekutive Funktionen als hierarchisch-temporär organisierten Problemlöseprozess mit unterschiedlichen Phasen: (1) Problemrepräsentation, (2) Planung, (3) Handlungsausführung (der Gebrauch einer selbst formulierten Regel steht hierbei im Zentrum) und (4) Evaluation und Fehlerkorrektur (siehe auch Kapitel 2.2.3., S.20).

Der Problemlöseansatz Exekutiver Funktionen kann ebenfalls als Narrowing-Ansatz verstanden werden. Zwar wird keine Komponente Exekutiver Funktionen in den Vordergrund gerückt, dennoch findet eine Fokussierung statt. Im Mittelpunkt steht die Funktionalität. Auch

Theorien kognitiver Komplexität (Frye et al., 1998; Halford et al., 1998; Zelazo & Frye, 1998; Zelazo et al., 2003) können diesem funktionalen Problemlöseverständnis Exekutiver Funktionen zugerechnet werden. Diese Modelle gehen davon aus, dass der Umgang mit komplexen Situationen als Kernfunktion Exekutiver Funktionen zu sehen sei.

Nach Halford et al. (1998) bedingt die Anzahl an Relationen, die repräsentiert werden müssen, die Komplexität einer Situation. Mit zunehmender Erfahrung, entwickle sich auch die Fähigkeit, mit immer komplexeren Situationen umgehen zu können. Dies sei eng mit der Arbeitsgedächtniskapazität verknüpft.

Auch Zelazo und Kollegen gehen in ihrer *Cognitive Complexity and Control Theory* (CCC; Frye et al., 1998; Zelazo & Frye, 1998; Zelazo et al., 2003) davon aus, dass die Komplexität einer Situation von zentraler Bedeutung sei. Im Gegensatz zu Halfords Theorie steht jedoch nicht die Entwicklung der parallel verarbeitbaren Relationen im Vordergrund, sondern das flexible Wechseln zwischen unterschiedlichen Relationen. Zentral ist also vielmehr der Umgang mit unterschiedlichen Anforderungen, insbesondere mit Regeln und Verhaltensoptionen, die miteinander im Konflikt stehen.

Entwickelt wurde die Theorie im Rahmen von Untersuchungen zum flexiblen Wechseln von Sortierregeln bei der sogenannten Dimensional Change Card Sort Task (DCCS, Zelazo et al., 2003; Zelazo, 2006). Bei der Durchführung dieser Aufgabe mit Kindern im Vorschulalter wurden deutliche Entwicklungen festgestellt. Die Kinder sollten zunächst Karten, auf denen jeweils ein farbiger Stimulus abgebildet war, seiner Form entsprechend in eine Kiste sortieren (z.B. ein rotes Auto in eine Kiste A, einen blauen Hasen in Kiste B). Anschließend sollten sie die gleichen Karten nach der Farbe der Stimuli sortieren (z.B. das rote Auto nun in Kiste B, den blauen Hasen nun in Kiste A). Es zeigte sich, dass dreijährige Kinder deutliche Schwierigkeiten damit hatten, die Sortierregel zu wechseln. Dies trat jedoch nur auf, wenn die beiden Sortierdimensionen im Konflikt zueinander standen. Wurden beispielsweise neue Karten mit andersfarbigen und unterschiedlich geformten Stimuli genutzt, kam es nicht zu Problemen. Vierjährigen fiel das flexible Wechseln der Regel selbst bei bestehendem Konflikt zwischen den Stimulusdimensionen nicht mehr schwer.

Zelazo und Kollegen interpretierten dies dahingehend, dass Vierjährige im Gegensatz zu drei Jahre alten Kindern den Konflikt eher lösen, indem sie eine übergeordnete Regel bildeten (z.B. „Beim Formenspiel gilt die erste Regel, beim Farbenspiel die zweite“). Dies gelinge mit der Zunahme der Reflexionsfähigkeit immer besser und so könnten immer komplexere hierarchische Regelsysteme repräsentiert werden.

Die Betonung der Funktionalität Exekutiver Funktionen, des Wozu im Gegensatz zum Warum, lenkt den Blick auf deren evolutionäre Bedeutung. Barkley (2012, 2013) betont die Bedeutung einer solchen Perspektive und kritisiert, dass Versuche, die Struktur der Exekutiven Funktionen besser zu verstehen, zu einer weitgehenden Ignoranz ihres Zwecks geführt hätten. Auch er sieht in den Exekutiven Funktionen eine Anpassungsleistung, die sich phylogenetisch entwickelt habe, um Probleme lösen zu können.

Für ein breites Verständnis der Entwicklung Exekutiver Funktionen kann es daher bedeutsam sein, sich Interspeziesvergleiche anzusehen und archäologische Funde unserer Vorfahren zu analysieren (für einen Überblick über archäologische Ansätze zur Erforschung der Exekutiven Funktionen siehe Haidle, 2010, 2012; Wynn & Coolidge, 2011). Doch auch die ontogenetische Entwicklung, die aus täglichen Anpassungsleistungen besteht, ist noch lange nicht hinreichend erforscht.

Anzumerken bleibt, dass die vielen unterschiedlichen, sich teilweise auch ergänzenden Modelle, unter Rückgriff auf unterschiedliche Aufgaben, Analysemethoden und theoretische Hintergründe entwickelt wurden. Dies bietet einerseits ein sehr breites Bild, erschwert gleichzeitig aber auch die Integration der unterschiedlichen Ansätze. Ein wichtiges Ziel sollte es daher sein, verstärkt interdisziplinär zusammenzuarbeiten, konsensuelle Begriffe zu bilden und sich auf Aufgaben zu einigen, die unter unterschiedlichen Blickpunkten zum Einsatz kommen. Idealerweise sollte es sich um Aufgaben handeln, die eine altersadaptive Testung erlauben.

Eine bereits bestehende gemeinsame Basis der meisten Theorien ist die Annahme, dass die Überwindung kognitiver Konflikte einen zentralen Anwendungsfall für Exekutive Funktionen darstellt. Worin diese bestehen, unterscheidet sich von Ansatz zu Ansatz jedoch (z.B. alte vs. neue Regel: Frye et al., 1998; Zelazo & Frye, 1998; Zelazo et al., 2003; aktuell relevante Informationsrepräsentation vs. dominante, aber nicht mehr aktuelle Informationen und Verhaltensimpulse: Diamond, 2006; Rothbart, 1989).

3.2. Erfassung und Entwicklung der Komponenten Exekutiver Funktionen

Bereits in den 1930er Jahren wurden Exekutive Funktionen im Rahmen von Studien zu frontalen Gehirnläsionen und deren Auswirkungen auf das Denken und die Handlungssteuerung mit kognitiven Aufgaben erfasst (z.B. Stroop Test, Stroop, 1935; WCST, Grant & Berg, 1946; Turm-Aufgaben (Turm von Hanoi oder Turm von London, Krikorian, Bartok, & Gay, 1994; Shallice, 1982); Iowa Gambling Task, Bechara, Damasio, Damasio, & Anderson, 1994).

Bis heute gibt es keinen „Goldstandard“-Test zur Erfassung Exekutiver Funktionen. Wie deutlich geworden sein sollte, gibt es viele unterschiedliche Ansätze und Theorien, die mit jeweils eigenen Operationalisierungen einhergehen. Selbst wenn man sich auf eine bestimmte Konzeption einigt (z.B. die drei Hauptkomponenten: Arbeitsgedächtnis, Inhibition, Set-Shifting) gibt es zahlreiche Umsetzungsmöglichkeiten.

Am schwerwiegendsten scheint das Problem der Aufgabenunreinheit zu sein. Aufgaben sind immer in einen spezifischen Kontext eingebettet und erfordern stets mehr als einen Aspekt Exekutiver Funktionen. Auch andere kognitive Prozesse (z.B. Farbverarbeitung, verbale Fähigkeiten o.ä.) spielen in aller Regel eine wichtige Rolle. Dies führt zu substantieller Kovarianz zwischen anderen kognitiven Komponenten, die neben der unsystematischer Fehlervarianz zu einer deutlichen Beeinträchtigung der Aufgabenreliabilität führen kann (Miyake & Friedman, 2012). Es empfiehlt sich daher, pro Komponente mehr als eine Aufgabe zu nutzen. Auch die Validität der Aufgaben ist häufig kritisch zu hinterfragen. Exekutive Funktionen sind in neuen, unstrukturierten Situationen relevant, in denen Routinehandlungen nicht ausreichen. Im Gegensatz dazu sind Laborsituationen häufig strukturiert.

Eine weitere Herausforderung sind altersangepasste Messmethoden (siehe auch Stelzer et al., 2014). Lange Zeit fand die Entwicklung Exekutiver Funktion im Kindes- oder gar Kleinkindalter keinerlei Beachtung, da die Forschung stark neurologisch orientiert war und man davon ausging, dass frontale Regionen vor dem Vor- und Grundschulalter noch kaum entwickelt seien (Luria, 1973, zit. nach Zelazo & Müller, 2002).

Erst Ende der 1980er Jahre änderte sich diese Sichtweise. Verantwortlich dafür waren Studien von Adele Diamond zum A-nicht-B-Suchfehler bei 12 Monate alten Kindern und Rhesusaffen (*Macaca mulatta*; Diamond, 1985, 1990a, 1990b). Diamond interpretierte die aufgetretenen Suchfehler nicht wie Piaget (1954) als Unfähigkeit, Objektpermanenz wahrzunehmen, sondern diskutierte sie als Probleme der Inhibitionsfähigkeit. EEG-Studien, die zeigen konnten, dass bessere Leistungen bei der A-nicht-B-Suchaufgabe mit erhöhter frontaler Aktivität einhergingen, unterstützten diese Annahme (z.B. Bell & Fox, 1992). Auch Studien des

Blickverhaltens wiesen in die gleiche Richtung. Bereits 8 Monate alte Säuglinge blickten zum richtigen, neuen Versteck, ihre Greifhandlung war jedoch häufig noch falsch (z.B. Ahmed & Ruffman, 1998; Baillargeon & Graber, 1988; Hofstadter & Reznick, 1996; s. Kapitel 2.2.3., S. 20).

Das Interesse an der Erforschung Exekutiver Funktionen im Kindesalter nahm daraufhin rapide zu. Mittlerweile gibt es viele kindgerechte Adaptionen der Aufgaben für Erwachsene (z.B. Carlson, 2005; Diamond & Gilbert, 1989; Hughes & Ensor, 2005; Johnson, 1995; Kochanska & Knaack, 2003; Kochanska et al., 2000; Zelazo, 2006; Zelazo et al., 2013; siehe auch Garon et al., 2008). Für Kinder unter zwei Jahren existieren allerdings vorwiegend Aufgaben, die sich auf einfache Inhibitions- und Arbeitsgedächtnisfähigkeiten beziehen. Für die Erfassung des Aufmerksamkeitsshiftings bei Kindern unter drei Jahren bestehen derzeit keinerlei Erfassungsmöglichkeiten (Garon et al., 2008; McGuigan & Núñez, 2006).

Im Folgenden werden beispielhaft Aufgaben für die einzelnen Komponenten Exekutiver Funktionen genannt (für eine umfassendere Übersicht siehe Carlson, 2005; Garon et al., 2008; Kochanska et al., 2000).

3.2.1. Inhibition

Erfassung

Bei der Inhibition handelt es sich um die wohl meisterforschte Komponente Exekutiver Funktionen im Säuglings- und Kleinkindalter. Sie wird als Kernkompetenz vieler Entwicklungsbereiche gesehen (vgl. Carlson & Moses, 2001). Nach Garon et al. (2008) können zwei unterschiedliche Inhibitionsniveaus unterschieden werden und damit einhergehend auch zwei Aufgabentypen: einfache und komplexe Inhibition.

Unter *einfacher Inhibition* versteht man das Unterdrücken eines dominanten Impulses. Dies ist beispielsweise bei Aufgaben zum *Belohnungsaufschub* erforderlich (Delay of Gratification: Mischel, Shoda, & Rodriguez, 1989). Dem Impuls, direkt nach einer Belohnung zu greifen, muss widerstanden werden, um später eine größere Belohnung zu erhalten. Eine weitere Variante dieser Aufgabe stellt die *Choice Version* dar, bei der zwischen einer kleinen unmittelbaren Belohnung und einer größeren zeitlich verzögerten Belohnung gewählt werden soll (Lemmon & Moore, 2007⁵).

⁵ Die Aufgabe kommt auch in der nicht-menschlichen Primatenforschung zum Einsatz. Dort wird die maximal tolerierte Wartezeit ermittelt (z.B. Lisztaffen (*Sanguinus oedipus*) und Weißbüschelaffen (*Callithrix jacchus*): Stevens, Rosati, Ross, & Hauser, 2005; Schimpansen (*Pan troglodytes*) und Bonobos (*Pan paniscus*): Rosati, Stevens, Hare, & Hauser, 2007; Kapuzineraffen (*Sapajus apella*): Addessi, Paglieri, & Focaroli, 2011). Die Aufgabe wird dort jedoch

Weitere Aufgaben für Vorschulkinder, die einfache Inhibition erfassen, sind beispielsweise die *Forbidden-Toy*-Aufgabe, bei der dem Impuls, ein attraktives Spielzeug anzufassen, für eine bestimmte Wartezeit nicht nachgegeben werden soll (Carlson, 2005; Original von Lewis, Stanger, & Sullivan, 1989). Auch die *Simon-says*-Aufgabe (Strommen, 1973) findet vielfach im Vorschulalter Verwendung. Hierbei soll nur unter dem Kommando „Simon says“ eine bestimmte Handlung ausgeführt werden. Gehemmt werden soll die Ausführung der Handlung jedoch, wenn das Kommando „Simon says“ fehlt (z.B. soll bei „Simon says touch your nose“ die Nase angefasst werden, wenn jedoch nur „Touch your nose“ gesagt wird, sollen sich die Kinder nicht an die Nase fassen).

Ab dem zweiten Lebensjahr kann die sogenannte *Snack-Delay*-Aufgabe zum Einsatz kommen. Bei dieser Aufgabe liegt unter einem transparenten Plastikbecher eine Süßigkeit. Das Kind wird gebeten, die Hände auf eine Schablone auf dem Tisch zu legen und sie dort zu lassen bis der Versuchsleiter nach einigen Sekunden mit einer Glocke klingelt. Erst dann darf das Kind die Hände von der Schablone lösen, nach dem Becher greifen und sich die Süßigkeit nehmen. Die Wartezeiten variieren hierbei zwischen 10 und 30 Sekunden (Kochanska et al., 2000).

Bei der *Wrapped-Gift*- oder *Gift-in-Bag*-Aufgabe (beide Kochanska et al., 2000) wird dem Kind jeweils ein Geschenk in Aussicht gestellt. Dieses muss jedoch entweder erst noch verpackt werden, wobei das Kind mit dem Rücken zum Versuchsleiter sitzt und sich noch nicht nach dem Geschenk umdrehen soll, während es verpackt wird, oder das Geschenk befindet sich in einer Tüte, die der Versuchsleiter im Raum stehen lässt, während er den Raum für drei Minuten verlässt, um etwas zu holen. Das Kind wird instruiert, nicht in die Tasche zu schauen bis der Versuchsleiter wieder im Raum ist.

Die *komplexe Inhibition* unterscheidet sich von der einfachen Inhibition darin, dass nicht nur ein dominanter Impuls inhibiert werden muss, sondern zusätzlich soll eine Handlung ausgeführt werden, die im Konflikt mit der dominanten Reaktion steht. Hierbei handelt es sich in aller Regel um eine ungewohnte, neue, oft arbiträre Handlung.

Die wohl früheste Erfassungsmöglichkeit bietet hierbei die *Antisakkadenaufgabe* (z.B. Johnson, 1995). Eine reflexhafte Augenbewegung (Sakkade) zu einem lateral dargebotenen Stimulus muss unterdrückt werden. Stattdessen soll in die dem Stimulus entgegengesetzte Richtung geblickt werden, d.h. es soll eine Sakkade zur Gegenseite ausgeführt werden (Antisakkade). Gemessen wird die Anzahl korrekt ausgeführter Antisakkaden. Bereits ab dem 12.

vielmehr unter dem Aspekt zukunftsorientierten Denkens gesehen und als *Temporal Discounting* bezeichnet, d.h. als ökonomisches Abschätzen des zeitlichen Belohnungsaufschubes.

Lebensmonat scheinen Säuglinge in der Lage zu sein, solche Antisakkaden zu produzieren (Scerif et al., 2005).

Bei der *Detour-Reaching*- oder *Object-Retrieval*-Aufgabe muss nicht nur die Blickbewegung in eine Richtung gelenkt werden, die dem dominanten Impuls entgegensteht, sondern eine Greifhandlung muss modifiziert werden. Das Kind sieht hierbei ein attraktives Spielzeug vor sich liegen. Zwischen Spielzeug und Kind befindet sich jedoch eine transparente Barriere. Um das Spielzeug zu erlangen, muss das Kind um die Barriere herum greifen. Es muss also den dominanten Impuls, direkt nach dem Spielzeug zu greifen, unterdrücken und stattdessen eine Bewegung ausführen, die zunächst vom Spielzeug weg zeigt. Die Aufgabe wird häufig in der zweiten Hälfte des ersten Lebensjahres eingesetzt (siehe auch Kapitel 2.2.3., S. 20; Diamond & Gilbert, 1989). Es existieren verschiedene Adaptionen der Aufgabe für ältere Kinder im Kleinkind- und Vorschulalter (z.B. Hughes & Russell, 1993; McGuigan & Núñez, 2006).

Die *Window Task* (Russell, Mauthner, Sharpe, & Tidswell, 1991) erfordert ebenfalls die Modifikation eines motorischen Handlungsimpulses. Allerdings wird hier statt des Greifverhaltens das Zeigeverhalten modifiziert. Um in dieser Aufgabe erfolgreich zu sein und eine attraktive Belohnung zu erhalten, muss statt auf die Belohnung, die in einem Fenster erscheint, auf ein leeres Fenster gedeutet werden. Eine ähnliche Aufgabe stellt die *Less-is-more*-Aufgabe dar (Carlson, Davis, & Leach, 2005), bei der auf eine kleinere Menge an Süßigkeiten gezeigt werden muss, um die größere Menge zu erhalten. Es gibt stets mehrere Durchgänge. Zur Auswahl stehen in der Standard-Bedingung zwei Stückchen Süßigkeit und fünf Stückchen. Beide Aufgaben werden zumeist zwischen drei und vier Jahren eingesetzt.

Da sich Inhibitionsaufgaben, die Belohnungen in Form von Spielzeugen oder Essen involvieren und deren Instruktionen sich durch Lernphasen non-verbal erlernen lassen, auch für die Tierforschung eignen, werden sie auch in der nicht-menschlichen Verhaltensforschung eingesetzt (z.B. mit Kapuzineraffen (*Sapajus apella*): Addessi & Rossi, 2011; Schimpansen (*Pan troglodytes*): Boysen, Berntson, & Mukobi, 2001; Totenkopffaffen (*Saimiri sciureus*): Adachi, Anderson, & Fujita, 2011; Köhlerschildkröten (*Geochelone carbonaria*): Wilkinson, Kuenstner, Mueller, & Huber, 2010).

Die für Testungen im Vorschulalter beliebte *Day-Night-Stroop*-Aufgabe (Gerstadt, Hong, & Diamond, 1994) stellt hingegen deutlich mehr Anforderungen an die verbalen Fähigkeiten und das verbale Instruktionsverständnis der Kinder. Es handelt sich um eine Modifikation der Stroop-Aufgabe für Erwachsene (Stroop, 1935), bei der den Kindern Karten gezeigt werden, auf denen entweder eine Sonne oder ein Mond zu sehen ist. Sehen die Kinder einen Mond, sollen sie „Tag“ sagen, bei einer Sonne hingegen „Nacht“. Es gibt mittlerweile auch eine Version der

Aufgabe, bei der keine verbale Reaktion von den Kindern verlangt wird (*Sonne-Mond-Aufgabe*, Voigt, Pietz, Pauen, Kliegel, & Reuner, 2012). Die Kinder sollen auf eine Sonnenlampe drücken, um diese anzuschalten, wenn auf einer Karte eine Sonne zu sehen ist. Ist hingegen ein Mond zu sehen, sollen sie den Impuls, auf die attraktive Lampe zu drücken, unterbinden.

Eine zurzeit äußerst populäre Erfassungsmethode komplexer Inhibition im Vorschulalter stellt die *Head-Toes-Knees-Shoulders Task* dar (HTKS, Ponitz, McClelland, Matthews, & Morrison, 2009). Bei dieser Aufgabe soll zunächst auf die passenden Körperteile gezeigt werden, z.B. bei „Kopf“ auf den Kopf, bei „Schultern“ auf die Schultern. Nach ein paar Durchgängen ändert sich die Regel und es soll nun nicht mehr auf die passenden Körperteile gezeigt werden, sondern auf andere, z.B. bei „Kopf“ auf die Schultern und bei „Schultern“ auf den Kopf. Die Aufgabe zeigte bereits in Studien mit Stichproben aus unterschiedlichen Kulturen eine recht gute prädiktive Validität hinsichtlich Schulerfolg, Mathematik- und Leseleistung und zukünftigem Vokabular (Wanless et al., 2011).

Wie deutlich geworden sein dürfte, erfordern komplexe Inhibitionsaufgaben mehr kognitive Ressourcen als einfache Inhibitionsaufgaben, da ein Konflikt überwunden werden muss. Auch die Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis sind höher, da man sich z.B. eine arbiträre Regel merken muss und die aktuell relevante Information, die im Konflikt mit der dominanten Reaktion steht, im Arbeitsspeicher gehalten werden muss.

Die Beteiligung unterschiedlicher Komponenten der Exekutiven Funktionen macht diese Aufgabenart unreiner als beispielsweise einfache Inhibitionsaufgaben, bei denen das Arbeitsgedächtnis kaum angesprochen wird. Einfache Inhibitionsaufgaben ermöglichen daher eine „reinerer Erfassung“ der Inhibitionskomponente als komplexere Aufgaben.

Entwicklung

Die Fähigkeit, eine dominante Reaktion zu unterdrücken (einfache Inhibition) entwickelt sich bereits im ersten Lebensjahr. Als besonders frühe Form der Inhibition kann das Lösen der Aufmerksamkeit von einem dominanten Reiz gesehen werden, zu dem eine automatische Orientierung erfolgte. Dazu sind Säuglinge bereits ab 2 bis 4 Monaten in der Lage (vgl. Rothbart & Posner, 2001). Das willentliche Modifizieren einer motorischen Handlung, die über reines Blickverhalten hinausgeht, kann einige Monate später, beim A-nicht-B-Suchfehler (siehe Kapitel 2.2.3., S. 20; Diamond, 1985; Piaget, 1954), beobachtet werden.

Anzumerken bleibt hierbei, dass die A-nicht-B-Suchaufgabe bereits eine komplexere Form der Inhibition darstellt. Analysiert man die Erfolge in dieser Aufgabe, so muss nicht nur eine dominante Reaktion unterbunden, sondern auch eine im Konflikt dazu stehende alternative

Handlung ausgeführt werden. Da dieser Anforderung sogar einige Übungsdurchgänge vorausgehen, in denen die dominante Reaktion erst ausgebildet und verstärkt wird, könnte man sogar von Set-Shifting sprechen (vgl. Kapitel 3.2.3., S. 99). Schaut man sich jedoch das Unterlassen des Greifens am falschen Ort an, so kann man auch Hinweise auf einfache Inhibitionsleistungen finden.

Das Unterdrücken eines dominanten Handlungsimpulses, scheint im zweiten und dritten Lebensjahr zunehmend häufiger zu gelingen. Mit 13 bis 15 Monaten kamen in einer Studie von Kochanska, Tjebkes und Forman (1998) 40% der Kinder dem Verbot durch die Bezugsperson sofort nach. Mit 22 Monaten waren es bereits 80% und mit 33 Monaten befolgten 90% das Verbot (Kochanska, 2002).

Auch die Fähigkeit, Belohnungen aufzuschieben scheint sich in ersten Lebensjahren deutlich zu entwickeln. Während vor dem vierten Lebensjahr nur knapp 60% volle fünf Minuten auf eine Belohnung warten, tun dies über 80% der Kinder über vier Jahren (Carlson, 2005). Auch in einer Längsschnittstudie zwischen 22 und 56 Monaten zeigten sich deutliche Anstiege der Wartezeit auf eine Belohnung (Kochanska et al., 2000).

Interessanterweise zeigte sich in eigenen Piloterhebungen mit dreieinhalb Jahre alten Kindern in Heidelberg kürzlich (Herbst 2014), dass nahezu alle Kinder in der Belohnungsaufschubaufgabe von Mischel et al. (1989) ganze fünf Minuten auf eine Süßigkeit warteten. Auch andere Forschergruppen berichteten uns von ähnlichen Erfahrungen (M. Holodynski, persönliche Kommunikation, 24. Januar 2014). Wurde hingegen die *Forbidden-Toy*-Aufgabe genutzt oder Aufgaben, bei denen die Kinder nicht unter ein Tuch linsen sollen, zeigte sich mehr Varianz und es war nicht mehr allen Kindern möglich, die gesamte Wartezeit durchzuhalten. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit von Pilotierungen zur Einschätzung der Adäquatheit verschiedener Aufgabentypen.

Auch Längsschnittstudien deuten auf bedeutsame Kompetenzzuwächse in unterschiedlichen einfachen Inhibitionsaufgaben zwischen dem zweiten und fünften Lebensjahr hin (z.B. 22 bis 33 Monate, Kochanska et al., 2000: Snack Delay, Wrapped Gift und Gift in Bag; drei bis fünf Jahre: Carlson, 2005: Gift Delay, Forbidden Toy, Simon Says; Lemmon & Moore, 2007: Choice Version Belohnungsaufschubaufgabe).

Bereits im ersten Lebensjahr sind auch bei der komplexen Inhibition deutliche Veränderungen sichtbar. Zwar können bereits mit 4 Monaten automatische Sakkaden unterdrückt werden. Antisakkaden, also Blickbewegungen, die mit dem automatischen Sakkadenimpuls im Konflikt stehen, können jedoch erst ab dem 12. bis 18. Monat ausgeführt

werden (s. Scerif et al., 2005). Deutliche Entwicklungen in der Antisakkadenaufgabe zeigen sich noch bis ins Erwachsenenalter (siehe Fukushima, Hatta, & Fukushima, 2000).

Auch in der Objekt-Retrieval- oder Detour-Reaching-Aufgabe können zwischen 6 und 12 Monaten bedeutsame Fortschritte beobachtet werden. So war es in einer Studie von Diamond, (1990a) erstmals mit 11 bis 12 Monaten der Mehrheit der Kinder möglich, die Aufgabe ohne fremde Hilfe zu lösen. Wurde eine intransparente Version genutzt, bei der die Belohnung nicht direkt sichtbar war, was den Impuls direkt nach dem Objekt zu greifen, vermutlich reduzierte, waren bereits früher Erfolge sichtbar. Ein ähnlicher Entwicklungstrend zeigte sich auch bei einer parallel getesteten Gruppe junger Rhesusaffen (*Macaca mulatta*) zwischen 1½ und 4 Monaten.

Auch bei der komplexen Inhibition konnten zwischen drei und fünf Jahren wesentliche Verbesserungen nachgewiesen werden (z.B. Day/Night Stroop, Gerstadt et al., 1994; Less-is-more-Aufgabe, Carlson et al., 2005). In einer Längsschnittstudie von Carlson (2005), in der unterschiedliche komplexe Inhibitionsaufgaben Verwendung fanden, waren sogar deutliche Leistungsunterschiede feststellbar, wenn die Gruppe der Dreijährigen in junge und ältere Dreijährige aufgeteilt wurde.

3.2.2. Arbeitsgedächtnis

Erfassung

Auch bei den Arbeitsgedächtnisaufgaben unterscheiden Garon et al. (2008) zwischen einfachen und komplexen Aufgaben. Die Autoren berufen sich dabei auf konfirmatorische Faktorenanalysen und neurologische Bildgebungsstudien, die diese Einteilung nahelegen. Einfache Aufgaben erfordern demnach lediglich das Behalten von Informationen über eine gewisse Zeit hinweg (vgl. visuo-räumlicher Notizblock und phonologische Schleife in Baddeleys Arbeitsgedächtnismodell; Baddeley & Hitch, 1974; Baddeley, 2003; Kapitel 3.1.2., S. 81), während es bei komplexen Aufgaben notwendig ist, die Informationen zu manipulieren und zu aktualisieren (vgl. zentrale Exekutive, Kapitel 3.2.1., S. 81).

In der Literatur findet man meist Aufgaben zur Erfassung des komplexen Arbeitsgedächtnisses. Auch bei Miyake et al. (2000) gibt es lediglich eine „Updating“-Komponente. Gerade im Säuglings- und Kleinkindalter existieren jedoch auch einige Aufgaben zur Erfassung des *einfachen Behaltens*.

So wird beispielsweise in *Delayed-Response*-Aufgaben (z.B. Diamond & Doar, 1989) ein Spielzeug versteckt, das das Kind nach einer kurzen Wartezeit suchen soll. Die Anzahl möglicher Verstecke und die Länge der Wartezeit können hierbei variiert werden (siehe Pelphrey et al.,

2004). Die Aufgabe kann auch mit Hilfe von Blickzeitmessungen durchgeführt werden, so dass keine manuelle Suche erforderlich ist (z.B. Pelphrey et al., 2004; Reznick, Morrow, Goldman, & Snyder, 2004; Ropeter, 2011).

Im Vorschulalter können auch (*Forward*-)Span-Aufgaben eingesetzt werden, die die Spanne der phonologischen Schleife oder des visuo-räumlichen Notizblocks erfassen. Hierzu erhalten die Kinder mehrere Informationen hintereinander, die sie anschließend replizieren sollen. Im Falle phonologischer Aufgaben soll in der gleichen Reihenfolge das Gesprochene des Versuchsleiters nachgesprochen werden (z.B. Zahlen nachsprechen (ZN), Untertest in HAWIK-IV, Petermann & Petermann, 2010).

Bei visuo-räumlichen Aufgaben kann u.a. eine räumliche Sequenz gezeigt werden, die die Kinder reproduzieren sollen (z.B. in vorgegebener Reihenfolge auf bestimmte Würfel zeigen, siehe Corsi-Block-Aufgabe, z.B. Farrell Pagulayan, Busch, Medina, Bartok, & Krikorian, 2006; Kessels, van Zandvoort, Postma, Kappelle, & de Haan, 2000).

Komplexere Arbeitsgedächtnisleistungen, die nicht nur das Aufrechterhalten aktueller Informationen, sondern auch das Auswählen relevanter Informationen und die Abschirmung von Irrelevantem erfordern, werden zumeist erst im Vorschulalter erfasst.

Analog zu den (*Forward*-)Span-Aufgaben, die einfache Behaltensleistungen erfassen, werden häufig sogenannte *Backward-Span*-Aufgaben eingesetzt (z.B. Carlson, 2005; Gathercole, Pickering, Ambridge, & Wearing, 2004; van der Ven, van der Maas, Straatemeier, & Jansen, 2013). Hier muss eine auditive oder visuo-räumliche Sequenz abgerufen und in umgekehrter Reihenfolge wiedergegeben werden. Während einige Autoren annehmen, dass sich (*Forward*-)Span-Aufgaben deutlich von *Backward-Span*-Aufgaben unterscheiden und nur letztere wirklich die zentrale Exekutive erfassen (Gathercole et al., 2004), deuten andere Studien darauf hin, dass es keine klare Trennung gibt und möglicherweise auch bei (*Forward*-)Span-Aufgaben bereits die zentrale Exekutive angesprochen wird (van der Ven et al., 2013). Möglich ist auch, dass nur bei phonologischen, nicht aber bei visuo-räumlichen Span-Aufgaben eine deutliche Trennung möglich ist, denn (Gathercole et al., 2004) nutzten nur eine auditive *Backward-Span*-Aufgabe, Van der Ven et al. (2013) nur eine visuo-räumliche. Nach Van der Ven et al. (2013) lasse sich eine Trennung nur bei auditiven Aufgaben auch ökologisch sinnvoll erklären: Selten sei es notwendig, auditive Informationen mental umzukehren, während dies im Alltag bei visuo-räumlichen Reizen häufiger erforderlich sei (z.B. um einer Wegbeschreibung in umgekehrter Reihenfolge folgen zu können). Es könne daher sein, dass die Umkehr visuo-räumlicher Informationen geübter sei und somit weniger exekutive Ressourcen erfordere als die Umkehr phonologischer Informationen.

Da das Konzept „Rückwärts“ gerade im Vorschulalter mit Verständnisschwierigkeiten einhergehen könnte, empfiehlt es sich, Erfassungsmöglichkeiten komplexer Arbeitsgedächtnisprozesse zu nutzen, in denen die erhaltenen Informationen auf andere, leichter verständliche Weise aktualisiert werden müssen. Ein Beispiel hierfür sind sogenannte *Self-Ordered Pointing*-Aufgaben (z.B. Cragg & Nation, 2007; Hongwanishkul, Happaney, Lee, & Zelazo, 2005). Ursprünglich wurde die Aufgabe entwickelt, um Defizite der Selbstorganisation bei erwachsenen Patienten mit frontalen und temporalen Gehirnläsionen zu untersuchen (Petrides & Milner, 1981). Den Versuchspersonen wurden mehrere Bilder simultan auf einem Blatt präsentiert. Sie sollten über mehrere Durchgänge hinweg auf alle vorhandenen Bilder deuten, ohne auf ein Bild doppelt zu zeigen. In jedem Durchgang wurde hierzu ein neues Blatt gezeigt, auf dem die gleichen Bilder zu sehen waren, allerdings in einer anderen Anordnung.

Diamond, Prevor, Callender und Druin (1997) entwickelten eine Adaption der *Self-Ordered-Pointing*-Aufgabe für Kinder ab 15 Monaten, die *Three-Boxes*- oder *Scrambled-Boxes*-Aufgabe. Bei dieser Aufgabe werden drei (oder mehr) Kisten mit je einer Belohnung bestückt. Anschließend soll das Kind alle Belohnungen nacheinander suchen. Nach jedem Öffnen einer Kiste wird kurz die Anordnung der Kisten verändert und das Kind muss einen Moment warten bis es die nächste Kiste öffnen darf. Die Kisten sind durch ihre unterschiedliche Form und Farbe voneinander zu unterscheiden. Um erfolgreich alle Belohnungen zu erhalten, muss sich das Kind die Kisten merken, in denen es bereits gesucht hat.

Auch die *Spin-the-Pots*-Aufgabe (Hughes & Ensor, 2005) kann bereits im Kleinkindalter eingesetzt werden. Hierbei werden in sechs von acht Kisten, die kreisförmig auf einem Drehteller platziert sind, Aufkleber versteckt. Nachdem diese vor dem Kind versteckt wurden, wird der Teller kurz mit einem Tuch verdeckt und gedreht. Anschließend soll das Kind alle Aufkleber suchen. Auch hierbei muss es sich merken, wo es bereits gesucht hat. Die Aufgabe kann im Alter von zwei bis drei Jahren eingesetzt werden. Eine von Bernier et al. (2010) entwickelte Version der Aufgabe (*Hide-the-Pots*) sogar bereits ab 18 Monaten: Hier wird ein Aufkleber in einer von drei Kisten versteckt. Diese werden anschließend kurz mit einem Tuch verdeckt, ehe das Kind nach dem Aufkleber suchen darf. Es gibt drei Durchgänge, so dass der Aufkleber in jeder der drei Kisten einmal versteckt wird.

Entwicklung

Bereits vor dem 6. Lebensmonat scheint sich die Fähigkeit zu entwickeln, eine Repräsentation für einen gewissen Zeitraum behalten zu können (Reznick et al., 2004). Zunächst gelingt dies nur wenige Sekunden, mit der Zeit kann ein verstecktes Objekt jedoch auch bei

längerer Wartezeit erfolgreich gesucht werden. Insbesondere zwischen dem 8. und 12. Monat ist diese Entwicklung zu beobachten. Mit 12 Monaten kann ein verstecktes Objekt auch nach zehn bis elf Sekunden gefunden werden, das an einem von zwei Orten versteckt wurde (Diamond & Doar, 1989). Auch kann zunehmend mit mehr potentiellen Verstecken umgegangen werden. Mit 12 Monaten können Kinder ein Objekt auch dann finden, wenn es vier mögliche Verstecke dafür gibt (Pelphrey et al., 2004).

Im ersten Lebensjahr können also zunehmend mehr Elemente über eine immer längere Zeitspanne behalten werden. Deutliche Verbesserungen der Arbeitsgedächtnisspanne zeigen sich noch bis ins junge Erwachsenenalter (Farrell Pagulayan et al., 2006).

Auch die Manipulation und das Aufrechterhalten aktueller Informationen scheinen sich im Vorschulalter deutlich zu entwickeln, so dass zwischen drei und fünf Jahren immer mehr Wörter auch rückwärts korrekt wiedergegeben werden können (z.B. Carlson, 2005). Auch beim Self-Ordered-Pointing zeigen sich in diesem Alter deutliche Verbesserungen (Hongwanishkul et al., 2005).

Eine Steigerung der Leistung in Arbeitsgedächtnisaufgaben ist bereits im Kleinkindalter zu verzeichnen. So gelingt Kindern zwischen 15 und 30 Monaten die Suche aller versteckten Belohnungen in mehreren Kisten, deren Positionen stets verändert werden, in immer weniger Durchgängen (Diamond et al., 1997). Ähnliche Entwicklungen sind zwischen 18 und 24 Monaten auch in der Spin-/Hide-the-Pots-Aufgabe zu beobachten (Bernier et al., 2010).

Die Einteilung in einfache und komplexe Arbeitsgedächtnisaufgaben, sowie die Entwicklungsverläufe für unterschiedliche Subsysteme des Arbeitsgedächtnisses (d.h. phonologisch, visuo-räumlich) sind im Alter unter drei Jahren bislang noch nicht ausreichend erforscht. Generell gibt es kaum Arbeiten zu komplexen Arbeitsgedächtnisleistungen im Kleinkindalter. Es mangelt an adäquaten Aufgaben, die als Basis für Längsschnittstudien dienen könnten (siehe Garon et al., 2008).

3.2.3. Set-Shifting

Erfassung

Unter Set-Shifting versteht man die Fähigkeit, flexibel den Aufmerksamkeitsfokus zwischen zwei mentalen Sets, also zwischen erstellten Repräsentationen, wechseln zu können. Dies ist erforderlich, wenn sich Kontextbedingungen ändern (z.B. Spielregeln). Arbeitsgedächtnis und vor allem Inhibition werden als wichtige Grundpfeiler verstanden (Diamond, Carlson, & Beck, 2005; Diamond, 2013; Garon et al., 2008). Im Arbeitsgedächtnis müssen relevante

Informationen aktualisiert werden, so dass der Aufmerksamkeitsfokus adäquat gelenkt werden kann. Darüber hinaus müssen irrelevante Informationen unterdrückt werden, die zuvor bedeutsam waren und somit vermutlich dominanter sind als die Informationen, die nun plötzlich im Fokus stehen, zuvor aber irrelevant waren.

Doch wie lässt sich Set-Shifting von komplexer Inhibition abgrenzen? Auch bei der komplexen Inhibition müssen irrelevante Informationen unterdrückt werden und eine alternative Handlung, die im Konflikt mit der dominanten steht, muss ausgeführt werden. Ein Unterschied bezieht sich darauf, dass ein dominanter Antwortimpuls erst aufgebaut wird, ehe er unterdrückt werden soll. So wird häufig eine bestimmte arbiträre Regel erlernt und für eine bestimmte Zeit befolgt, ehe es zu einer Veränderung der Regel kommt. Im Falle der komplexen Inhibition existiert von Anfang an eine dominante Reaktion. Sie wird nicht erst erlernt (z.B. das Verlangen nach der größeren Menge an Süßigkeiten bei der Less-is-more-Aufgabe). In Realität ist eine strikte Unterscheidung nicht immer möglich, da in manchen Fällen unklar ist, ob ein bestimmter Antwortimpuls bereits von Beginn an vorherrschte oder erst völlig neu erlernt wurde.

In der Literatur findet man gelegentlich eine Unterscheidung zwischen *Response Shifting* und *Attention Shifting* (Garon et al., 2008; Nagahama et al., 2001; Wildes, Forbes, & Marcus, 2014). Bei ersterem muss eine zuvor etablierte Handlung modifiziert werden (z.B. A-nicht-B-Suchaufgabe; Stimulus-Response-Umkehr), während bei letzterem die entscheidende Modifikation im Verschieben des Aufmerksamkeitsfokus besteht (z.B. bei einem Stimulus, der hinsichtlich zweier Dimensionen zu unterscheiden ist, erst auf eine Dimension achten, z.B. Farbe, und anschließend auf die zweite Dimension, z.B. Form). Die beiden Shifting-Arten scheinen auch mit unterschiedlichen neuronalen Aktivierungen einherzugehen. Während bei der Stimulus-Response-Umkehr der posteriore ventrale Präfrontalkortex aktiviert war, zeigte sich bei Attention-Shifting-Aufgaben eher eine Aktivierung anteriorer dorsolateraler Präfrontalregionen (Nagahama et al., 2001).

Die A-nicht-B-Suchaufgabe kann folglich sowohl als Inhibitionsaufgabe, als auch als Response-Shifting-Aufgabe gesehen werden. Es besteht ein Konflikt auf Verhaltensebene (Inhibition), der jedoch erst durch vorausgegangene Trainingsdurchgänge etabliert wurde und nicht bereits zu Beginn vorhanden war (Set-Shifting).

Neben der A-nicht-B-Suchaufgabe existieren weitere Aufgaben dieser Art, die vielfach als *Response-Reversal*-Aufgaben bezeichnet werden. Eine Reaktion auf einen Stimulus wird über mehrere Durchgänge hinweg durch kontingentes Belohnungslernen etabliert. Sobald dies erreicht ist, wird die erforderliche Reaktion umgekehrt. Die erlernte Reaktion führt dann nicht

mehr zum Erfolg, sondern es muss z.B. auf einen anderen Stimulus reagiert werden. Die A-nicht-B-Suchaufgabe zählt zu den *Spatial-Reversal*-Aufgaben, da sich die räumliche Position, auf die gezeigt werden soll, verändert. Äquivalent dazu existieren auch sogenannte *Color-Reversal*-Aufgaben, bei denen sich nicht die räumliche Position verändert, auf die reagiert werden soll, sondern die Stimulusfarbe (z.B. Espy, Kaufmann, Glisky, & McDiarmid, 2001; Espy, Kaufmann, McDiarmid, & Glisky, 1999).

Attention Shifting wird im Jugend- und Erwachsenenalter typischerweise mit Hilfe des *Wisconsin Card Sorting Test* (WCST, Grant & Berg, 1946) erfasst. Bei diesem Test erhalten die Probanden einen Stapel Karten. Nacheinander sollen nun die Karten jeweils einer von drei Zielkarten zugeordnet werden. Die Zielkarten, wie auch die zu sortierenden Karten, unterscheiden sich hinsichtlich der Anzahl, Farbe und Form der auf ihnen abgebildeten Stimuli. Eine Karte kann den Zielkarten nach jeder der drei Dimensionen zugeordnet werden. Die aktuelle Sortierregel wird nicht genannt, sondern die Versuchspersonen müssen sie sich erschließen. Sie gilt stets nur für einige Durchgänge, dann wird sie gewechselt und die Probanden müssen die neue Regel inferieren. Es gibt auch leicht vereinfachte Versionen, die bereits ab vier Jahren eingesetzt werden können (z.B. MWCST, Cianchetti, Corona, Foscoliano, Contu, & Sannio-Fancello, 2007; Drummey & Newcombe, 2002).

Eine Sortieraufgabe, die bereits ab dem dritten Lebensjahr eingesetzt werden kann, ist die *Dimensional Change Card Sort Task* (DCCS, Zelazo et al., 2003; Zelazo, 2006). Bei dieser Aufgabe wird die aktuell relevante Regel explizit genannt und muss nicht erschlossen werden. Es gibt hier auch stets nur zwei Dimensionen, nach denen die Karten sortiert werden können (Farbe und Form, z.B. rot/blau und Hase/Auto). Die Aufgabe teilt sich in zwei Phasen auf: In der sogenannten Preswitch-Phase werden die Karten zunächst nach einer der beiden Dimensionen sortiert (z.B. nach Farbe). Als erstes wird die Regel erklärt. Anschließend folgen sechs Durchgänge, in denen die Versuchspersonen selbst sortieren. In der darauf folgenden Postswitch-Phase gilt eine neue Regel. Es wird nach der zuvor irrelevanten Dimension sortiert (in unserem Beispiel also nach der Form). Diese neue Regel wird wieder genannt und es folgen erneut sechs Durchgänge. Mittlerweile gibt es auch eine Computerversion der Aufgabe, die bis ins hohe Erwachsenenalter durchgeführt werden kann (siehe NIH Toolbox Cognitive Battery; Zelazo et al., 2013).

Eine im Vor- und Grundschulalter häufig eingesetzte Aufgabe ist die *Flanker Task* (Rueda et al., 2004, 2005). Es handelt es sich hierbei um eine Adaption der Flanker-Aufgabe für Erwachsene (Eriksen & Eriksen, 1974). Bei dieser Aufgabe müssen am Computer Fische gefüttert werden. Es werden in jedem Durchgang mehrere Fische in einer Reihe angeordnet auf

dem Bildschirm präsentiert. Füttern kann man die Fische, indem man auf eine linke oder rechte Taste drückt, je nachdem, in welche Richtung die hungrigen Fische blicken. In manchen Durchgängen sind die Fische rot, in anderen blau. Wenn die Fische rot sind, ist der mittlere Fisch hungrig und soll gefüttert werden. Die äußeren Fische sollen dann ignoriert werden. Sind die Fische blau, sollen hingegen die äußeren Fische gefüttert werden. In einigen Durchgängen blicken alle Fische in die gleiche Richtung (kongruente Durchgänge), in anderen blickt der mittlere Fisch in eine andere Richtung als die äußeren Fische (inkongruente Durchgänge). Die Farbe und somit die Regel, auf welche Fische geachtet werden soll, ändert sich in unregelmäßigen Abständen.

Vor dem dritten Lebensjahr gibt es kaum Aufgaben, die die Set-Shifting-Leistung erfassen. Eine Aufgabe, die schon mit 24 Monate alten Kindern durchgeführt werden kann, ist die *Reverse-Categorization*-Aufgabe (Carlson, Mandell, et al., 2004). Bei dieser Aufgabe werden Objekte zunächst ihrer Größe entsprechend sortiert (große Objekte in einen großen Behälter, kleine in einen kleinen). Anschließend führt der Versuchsleiter eine „verrückte“ Regel („Silly Game“) ein. Die kleinen Objekte sollen dann in den großen Behälter sortiert werden, die großen in den kleinen. Da in der Aufgabe bereits von Beginn an eine dominante Sortiertendenz zu bestehen scheint, die nach einer Weile unterdrückt werden muss, wird die Aufgabe jedoch häufig der Erfassung von Inhibition zugeordnet.

Entwicklung

Zwischen dem ersten und dritten Lebensjahr zeigt sich eine deutliche Entwicklung der Response-Shifting-Fähigkeit. Die Leistung in A-nicht-B-Suchaufgabe verbessert sich wesentlich (siehe Kapitel 2.2.3., S. 20, Kapitel und Kapitel 3.2.1., S. 91; Diamond, 1985; Piaget, 1954). Auch in Color- und Spatial-Reversal-Aufgaben zeigten sich leichte Leistungsverbesserungen zwischen zwei und fünf Jahren (Espy et al., 1999), wohingegen zwischen 30 Monaten und fünf Jahren keine Leistungsunterschiede auftraten (Espy et al., 2001).

Auch bei der Reverse-Categorization-Aufgabe, die dem Attention Shifting zugeordnet werden kann, zeigten sich deutliche Entwicklungen zwischen zwei und drei Jahren. Während nur knapp über 20% der zweijährigen Kinder die Aufgabe erfolgreich abschlossen (d.h. überzufällig häufig korrekte Sortierungen nach der „verrückten Regel“ in der zweiten Phase vornahmen), war dies über 85% der drei Jahre alten Kinder möglich (Carlson, 2005). Auch in einer Längsschnittstudie zeigten sich Veränderungen in diesem Altersbereich (Carlson, Mandell, et al., 2004). Dabei gilt es zu beachten, dass sich die Aufgabe für Dreijährige von der Aufgabe für Zweijährige darin unterschied, dass keine abstrakten Objekte sortiert wurden, sondern „Mama“-

und „Baby“-Tiere. Dies erschwert die direkte Vergleichbarkeit, da nicht klar ist, inwiefern die semantische Bedeutung die Zuordnung beeinflusst.

Da für die Attention-Shifting-Fähigkeit sowohl Inhibition, als auch Arbeitsgedächtnis wichtig erscheinen, gehen Garon et al. (2008) und Diamond (2013) davon aus, dass sich die Set-Shifting-Fähigkeit zeitlich nach der Inhibition und dem Arbeitsgedächtnis entwickelt. Die meisten Befunde zur Entwicklung der Attention-Shifting-Fähigkeit im Kindesalter liegen bislang aus Studien zur Dimensional Change Card Sort Task vor.

Vor dem vierten Lebensjahr scheint das flexible Wechseln des Aufmerksamkeitsfokus in der DCCS-Aufgabe nur schwer möglich zu sein. Zwar gelingt drei Jahre alten Kindern in aller Regel das Sortieren in der Preswitch-Phase. Ein flexibler Wechsel zum Sortieren nach der zuvor irrelevanten Dimension scheint für die Mehrheit der Kinder jedoch erst ab dem vierten Lebensjahr möglich zu sein (Zelazo et al., 2003; Zelazo, 2006).

Mittlerweile gibt es eine Vielzahl an Studien, die unterschiedlichste Variationen der DCCS-Aufgabe einsetzen, um herauszufinden, worin genau die Schwierigkeiten liegen (für einen Überblick Zelazo et al., 2003). Aus diesen Arbeiten haben sich mehrere Erklärungsansätze entwickelt. So gehen Zelazo und Frye (1998) in ihrem Cognitive-Complexity-and-Control-Ansatz (CCC, siehe auch Kapitel 3.1.4., S. 87) davon aus, dass es zum Überwinden des Konfliktes zwischen den beiden Stimulusdimensionen (Form vs. Farbe) notwendig sei, eine übergeordnete Regel zu formulieren (z.B. beim Farbenspiel gilt Regel 1, beim Formenspiel gilt Regel 2). Dies sei jedoch Dreijährigen noch nicht möglich. Sie könnten lediglich einfache Wenn-Dann-Regeln repräsentieren. Die Repräsentation von Wenn-Wenn-Dann-Regeln sei zu komplex. Mit der Zunahme der Reflexionsfähigkeit zwischen drei und vier Jahren (siehe auch Levels of Consciousness, Zelazo, 2004) entwickle sich die Fähigkeit, Regelsysteme hierarchisch zu strukturieren und flexibel zwischen Regeln wechseln zu können.

Kloo und Perner (2005) bieten eine Alternativerklärung an. Sie nehmen an, dass vor allem in der konzeptuellen Redeskription, also der Veränderung erstellter Repräsentationen der Stimuli, die Schwierigkeiten in der DCCS-Aufgabe begründet liegen. Zu dieser Annahme kommen die Autoren, weil auch drei Jahre alte Kinder bereits eine Leistung zeigen, die mit der Leistung Vierjähriger vergleichbar ist, wenn die beiden Dimensionen nicht in einem Stimulus integriert sind (z.B. blauer/roter Vogel/Fisch), sondern nebeneinander auf der Karte präsentiert werden (z.B. grün gefüllter Kreis neben einem Haus, gelb gefüllter Kreis neben einem Auto). Während weniger als 20% der dreijährigen Kinder in der integrierten Version der Aufgabe erfolgreich waren, lag die Erfolgsquote derselben Kinder in der separierten Version der Aufgabe bei etwa 80% (ähnliche Ergebnisse auch bei Diamond et al., 2005).

Auch die Repräsentationsstärke der Regel könnte die Leistungsunterschiede zwischen drei und vier Jahre alten Kindern erklären. So geht Munakata (2001) im *Graded-Representations-Ansatz* davon aus, dass Verhalten stets aus der Interaktion verschiedener Systeme resultiere. Im Verhalten kämen nur solche Repräsentationen zum Ausdruck, die stabil genug seien. Bestehe ein Konflikt zwischen zwei Stimulusdimensionen, der Verarbeitungskapazitäten erfordere, so reiche die Repräsentationsstärke der neuen Regel bei jüngeren Kindern noch nicht aus, um auf der Handlungsebene sichtbar zu werden. Für diese Interpretation sprechen Befunde zur DCCS-Aufgabe, die zeigen, dass dreijährige Kinder zwar perseveratives Sortierverhalten zeigen, also in der Postswitch-Phase weiterhin nach der alten Regel sortieren. Werden sie jedoch nach der geltenden Regel gefragt, nennen sie diese korrekt.

Eine weitere interessante Interpretation bieten Kirkham, Cruess und Diamond (2003) an. Auch sie realisierten unterschiedliche Versionen der DCCS-Aufgabe. Neben der Standardversion gab es eine Variante, bei der die Kinder die Stimuli in jedem Durchgang nach der aktuell relevanten Dimension benennen sollten. Zudem gab es eine Bedingung, in der die bereits sortierten Karten für das Kind gut sichtbar im Behälter liegen blieben. Es zeigte sich, dass auch Vierjährige in diesem Fall große Schwierigkeiten hatten, nach der neuen Regel zu sortieren. Sollten die Stimuli nach den relevanten Dimensionen benannt werden, gelang hingegen bereits drei Jahre alten Kindern das flexible Wechseln der Regel. Die Autoren schließen aus diesen Befunden, dass es den Kindern schwer fällt, ihren Aufmerksamkeitsfokus von der ersten Regel zu lösen. Sie sprechen von *Attentional Inertia*, Aufmerksamkeitsträgheit. Sind zuvor sortierte Karten noch sichtbar, falle es schwerer, sich von der alten Regel zu lösen. Müssen die Stimuli hingegen nach der relevanten Dimension benannt werden, so lenke dies die Aufmerksamkeit der Kinder auf die neue Dimension und helfe ihnen beim Überwinden ihrer Aufmerksamkeitsträgheit.

Zuletzt sei die Annahme genannt, der Kern des Problems liege darin, dass Kinder zu viel Inhibition zeigten. Der *Negative-Priming-Ansatz* (Müller, Dick, Gela, Overton, & Zelazo, 2006; Zelazo et al., 2003) postuliert, dass die Kinder in der Preswitch-Phase die irrelevante Dimension inhibieren. In der Postswitch-Phase muss nun das Unterdrücken der irrelevanten Dimension unterlassen werden, die zuvor inhibierte Dimension soll dagegen beachtet werden. Für diesen Erklärungsansatz sprechen Befunde aus einer Studie, in der in der Postswitch-Phase die in der Preswitch-Phase relevante Dimension nicht mehr auftauchte und somit nicht unterdrückt werden musste. Dennoch kam es ebenfalls zu Fehlern (Müller et al., 2006).

Die genannten Ansätze schließen sich nicht in allen Punkten gegenseitig aus. Jeder trägt vielmehr dazu bei, die Problematik umfassender zu verstehen. Ein gemeinsamer Nenner besteht

darin, dass alle im Lösen eines kognitiven Konfliktes und der selektiven Aufmerksamkeitslenkung die zentrale Schwierigkeit sehen. Es scheint sich um ein dynamisches Zusammenspiel aus Aktivierung und Inhibition von Aufmerksamkeit und zugehörigen Regeln zu handeln (Müller et al., 2006).

Auch im Schulalter zeigt sich noch ein deutlicher Leistungszuwachs beim Attentional Shifting. So nimmt beispielsweise die Reaktionszeit in der Flanker Task zwischen sechs und neun Jahren deutlich ab (Rueda et al., 2004). Dies ist vor allem bei inkongruenten Durchgängen der Fall, bei denen sich die Reaktion auf den inneren Stimulus mit der Reaktion auf die äußeren widerspricht. Auch neuere Studien weisen auf eine deutliche Entwicklung zwischen fünf und zehn Jahren hin (Akshoomoff et al., 2014).

Zwar gibt es mittlerweile viele Studien zur Set-Shifting-Fähigkeit ab dem dritten Lebensjahr, dennoch bleibt offen, wie sich diese Fähigkeit vor dem dritten Lebensjahr entwickelt. Ziel sollte es daher sein, altersangemessene Aufgaben auch für den jüngeren Altersbereich zu suchen, um die Set-Shifting-Entwicklung umfassender verstehen zu können.

3.2.4. Heiße vs. kühle Exekutive Funktionen

Aufgaben zur Erfassung Exekutiver Funktionen unterscheiden sich nicht nur hinsichtlich ihrer Anforderungen (motorische Handlungen, verbale Antworten, Blickverhalten), sondern auch bezüglich ihres Aufforderungs- und Motivationscharakters. Dies kann sich auch in den Leistungsunterschieden zwischen verschiedenen Altersgruppen niederschlagen.

Vielfach wird mittlerweile die Unterscheidung zwischen „heißen“ und „kühlen“ Aufgaben (*Hot vs. Cool EF Tasks*) vorgeschlagen (Metcalf & Mischel, 1999; Zelazo & Müller, 2002). Heiße Aufgaben haben einen eher emotionalen und motivationalen Charakter (z.B. Belohnungsaufschub, siehe Mischel et al., 1989; oder Less is more, siehe Carlson et al., 2005), während kühle Aufgaben emotional eher neutral sind (z.B. Arbeitsgedächtnisaufgaben oder auch Sortieraufgaben wie die DCCS, Zelazo, 2006).

Interessanterweise sprechen diese Aufgaben anscheinend unterschiedliche Gehirnareale an. So sind heiße Aufgaben eher mit Aktivierungen orbitofrontaler und limbischer Regionen assoziiert, die auch bei der Emotionsregulation aktiv sind und zum neuronalen Belohnungssystem gehören, wohingegen kühle Aufgaben eher mit einer erhöhten Aktivierung im dorsolateralen Präfrontalkortex einherzugehen scheinen (Poletti, 2010; Zelazo & Carlson, 2012). Auch treten in Abhängigkeit von den betroffenen Regionen unterschiedliche Beeinträchtigungen Exekutiver Funktionen bei präfrontalen Läsionen auf. So zeigten Patienten mit Schädigungen des

orbitofrontalen Kortex keine Beeinträchtigungen in kühlen Maßen Exekutiver Funktionen wie sie etwa mit dem Wisconsin Card Sorting Test erfasst werden, während sie im Alltag und insbesondere in motivationalen Situationen und Aufgaben (z.B. bei der Iowa Gambling Task, bei der um Geldgewinne gespielt wird; Bechara et al., 1994) deutliche Einbußen zeigten (Zelazo & Carlson, 2012).

Dass der motivationale Charakter einer Aufgabe Einfluss auf die Leistung der Kinder hat, zeigen beispielsweise Studien, in denen Aufgaben absichtlich „abgekühlt“ wurden. Beispielsweise gab man Vorschülern Ablenkungsstrategien oder forderte sie auf, sich auf einen kühlen, neutralen Aspekt der Belohnung zu konzentrieren statt auf seine belohnenden Eigenschaften (Metcalf & Mischel, 1999). Tatsächlich gelang es den Kindern unter diesen Umständen eher, die Belohnung aufzuschieben. Auch zeigten Kinder, die erfolgreich waren, häufiger spontan symbolische Ablenkungsstrategien. Sie erinnerten sich selbst laut an die Regel, fingen an symbolisch zu spielen, sangen oder erzählten sich etwas (Carlson & Beck, 2009).

Werden in der Less-is-more-Aufgabe die hoch-motivationalen Stimuli (d.h. Schokobällchen), durch Steine oder andere Symbole ersetzt, so waren drei bis vier Jahre alte Kinder eher in der Lage, auf die kleine Menge zu zeigen, um die große zu erhalten (Carlson et al., 2005). Darüber hinaus wurde die Aufgabe umso einfacher, je abstrakter die Symbole waren, je weniger sie also äußerlich der Belohnung ähnelten. Zu ähnlichen Ergebnissen kam es auch in einer Studie, die statt der Less-is-more-Aufgabe, die Window Task nutzte (Apperly & Carroll, 2009). Auch in vergleichenden Studien mit Kindern im Vorschulalter und nicht-menschlichen Primaten (Kapuzineraffen, *Sapajus apella*) zeigten sich mittlerweile ähnliche Ergebnisse (Addessi & Rossi, 2011; Addessi et al., 2014).

Gerade bei Aufgaben im Kleinkindalter sind Belohnungen und motivationale Faktoren in aller Regel notwendig, um die Aufgaben überhaupt durchführen zu können. Das Ausmaß dieser Motivation ist jedoch kaum zu erfassen. Auch dürfte es deutliche interindividuelle Unterschiede geben. Eine Belohnung ist nicht für alle gleich attraktiv. Dies erschwert die Betrachtung und die Vergleiche von Studienergebnissen. So zeigt sich erneut, dass eine Vielzahl an Erfassungsmöglichkeiten simultan genutzt werden sollte (heiße und kühle, einfache und komplexe), um die Entwicklung der einzelnen Komponenten besser einschätzen zu können.

3.3. Exekutive Funktionen, Werkzeuggebrauch und Wissenstransfer

Der Problemlöseansatz Exekutiver Funktionen (Zelazo et al., 1997) verdeutlicht die Bedeutung Exekutiver Funktionen in jeder Phase des Problemlöseprozesses. Die Auswahl, der Gebrauch von Werkzeugen und die Korrektur und Anpassung des Verhaltens an neue Situationen (d.h. auch beim Wissenstransfer) gehören ebenfalls zum Problemlöseprozess. Auch hier scheinen somit alle Komponenten Exekutiver Funktionen angesprochen zu werden (siehe auch Vaesen, 2012).

Die enge Verknüpfung zwischen der Entwicklung Exekutiver Funktionen und dem Gebrauch immer komplexerer Werkzeuge zeigt sich u.a. in der archäologischen Forschung. Werkzeugfunde werden dort genutzt, um Rückschlüsse auf kognitive Fähigkeiten, insbesondere auf die Arbeitsgedächtniskapazität, zu ziehen (Haidle, 2010, 2012; Wynn & Coolidge, 2011).

Zuvor wurde bereits kurz auf die besondere Relevanz Exekutiver Funktionen im Rahmen des Wissenstransfers hingewiesen. Immer wieder werden Zusammenhänge zwischen der Exekutiven Funktionsfähigkeit und der Fähigkeit, induktive Schlüsse zu ziehen oder Analogien zu bilden, diskutiert (z.B. Richland et al., 2006; Stevenson, Heiser, & Resing, 2013; Thibaut et al., 2010). Auch in einer Längsschnittstudie zeigte sich, dass neben verbalen Fähigkeiten, die Exekutive Funktionsfähigkeit in der ersten Klasse die Entwicklung der Fähigkeit zur verbalen Analogiebildung mit 15 Jahren vorhersagen kann, was bedeutsame Implikationen für die Problemlösefähigkeit mit sich bringt (Richland & Burchinal, 2013).

Wenn es bereits erste Befunde gibt, die auf deutliche Zusammenhänge zwischen der Entwicklung Exekutiver Funktionen und der Entwicklung der Problemlösefähigkeit bei Erwachsenen und im Schulalter hinweisen, so könnten sich auch insbesondere in den ersten Lebensjahren, in denen sich die Exekutiven Funktionen bedeutsam entwickeln und viele Erfahrungen im Umgang mit Objekten gemacht werden, solche Zusammenhänge zeigen.

Die vorliegende Arbeit setzte genau hier an. Zum einen sollten die Aneignung von Wissen über Werkzeuge und die Entwicklung des Transfers auf neue Situationen im Kleinkindalter näher untersucht werden. Zum andern sollten potentielle Zusammenhänge zwischen dem Transfer funktionalen Werkzeugwissens und der Exekutiven Funktionsfähigkeit betrachtet werden.

4. Aneignung von Werkzeugwissen und Wissenstransfer mit 24 Monaten (Studie 1)

Zwar scheinen bereits Kleinkinder unter bestimmten Umständen Werkzeuge nutzen und relevantes funktionales Wissen über Werkzeuge auf neue Situationen übertragen zu können ohne sich dabei von auffälligen, aber irrelevanten Merkmalen ablenken zu lassen (z.B. Brown, 1990; Chen et al., 1997; Chen & Siegler, 2000). Andererseits gibt es auch Studien, die deutliche Grenzen flexibler Transferfähigkeit im Kleinkindalter aufzeigen (z.B. Baker & Keen, 2007). Die genauen Umstände unter denen flexibler Wissenstransfer im Kleinkindalter möglich ist, sind bislang noch ungeklärt.

Die beschriebenen Studien unterscheiden sich deutlich hinsichtlich ihrer Aufgabenkomplexität (siehe Kapitel 2.6.6, S. 75). Selbst wenn Zielobjekt und Werkzeug bereits im Kontakt sind, kann es immer noch zu Schwierigkeiten bei der Handlungsausführung kommen (siehe Kapitel 2.2.3, S. 20). Umso mehr Schwierigkeiten können mit zunehmender Aufgabenkomplexität und Anzahl an Relationen zwischen Individuum, Zielobjekt und Hilfsmittel auftreten.

Bislang existieren keine Studien, die die Phase der Handlungsausführung ausklammern und sich zunächst auf die Phase der Werkzeugwahl konzentrieren. Die kognitiven Transferfähigkeiten sind daher möglicherweise mit motorischen Fähigkeiten konfundiert. Dies ist insbesondere bei motorisch schwierigeren Aufgaben von Belang. Während sich eigene motorische Erfahrung positiv auf das Verständnis einfacher funktionaler Handlungen auswirken kann (Loucks & Sommerville, 2012; Sommerville, Hildebrand, & Crane, 2008; Sommerville et al., 2005), erfordern schwierigere Aufgaben möglicherweise mehr Monitoring der eigenen Handlungen, was wiederum kognitiver Ressourcen bedarf.

Unterschiede hinsichtlich der kognitiven wie motorischen Komplexität reduzieren die Vergleichbarkeit der vorhandenen Studien deutlich. So nutzten Studien, in denen früh flexible Transferfähigkeit sichtbar wurde (Brown, 1990; Chen et al., 1997; Chen & Siegler, 2000), eher motorisch einfache Aufgaben, während Studien, in denen es zu Transferproblemen kam (z.B. Baker & Keen, 2007), motorisch anspruchsvollere Aufgaben umfassten. Um eine Konfundierung motorischer Fähigkeiten mit flexiblen Transferfähigkeiten zu reduzieren, sollte daher in der vorliegenden Studie der Fokus auf die Werkzeugwahl gerichtet werden.

Bei der Auswahl eines geeigneten Hilfsmittels spielen funktionale Informationen, sowie auffällige perzeptuelle, aber aufgabenirrelevante Merkmale eine Rolle. Enkodieren bereits Kleinkinder auch funktionale Aspekte eines Werkzeuges, wie dies die Studien von Brown (1990), Chen et al. (1997) und Chen und Siegler (2000) nahelegen? Und gelingt ihnen auch spontan der Transfer dieser funktionalen Informationen?

Da Informationen über die kausale Wirkung von Objekten deren funktionale Merkmale hervorzuheben scheinen (siehe Träuble & Pauen, 2011), wurde angenommen, dass Informationen über den kausalen Mechanismus einer Aufgabe dabei helfen, ein geeignetes Hilfsmittel zu finden und möglicherweise auch den Transfer der funktionalen Information und das Ignorieren irrelevanter Merkmale erleichtern.

Stehen perzeptuelle und funktionale Werkzeugmerkmale im Konflikt, so sollte das Ausmaß dieses Konfliktes die Transferfähigkeit beeinflussen. Spontaner Transfer sollte eher gelingen, wenn relevante funktionale und auffällige, aber irrelevante Oberflächenmerkmale des Werkzeuges weniger in Konflikt miteinander stehen.

Problemlösen und Lernen sind keine einschrittigen Prozesse, die in einem sozialen Vakuum stattfinden. Es sollte daher ein mikroanalytisches Design mit mehreren Versuchsdurchgängen und Rückmeldung durch den Versuchsleiter realisiert werden, damit Leistungsverläufe und die Reaktion der Kinder auf Rückmeldungen zu ihren Handlungen untersucht werden können (Chen & Siegler, 2000; Kuhn, 1995; Siegler, 2000; Tunteler & Resing, 2002, 2007). Dies erlaubt Rückschlüsse auf die Anpassungsfähigkeit der Kinder. Auch hier könnte sich die Wahrnehmung des kausalen Aufgabenmechanismus möglicherweise positiv auf die Verhaltensflexibilität und Anpassungsfähigkeit der Kinder auswirken.

Ausgehend von diesen Überlegungen wurde in Studie 1 eine Problemlöseaufgabe präsentiert, bei der die Kinder ein Werkzeug (Stab) auswählen, aber nicht selbst benutzen durften, um damit eine Kugel aus einer transparenten Röhre zu stoßen. Der Mechanismus, der zum Ziel führte, war in einer Bedingung transparent (Causal-Info Bedingung) in einer anderen dagegen nicht sichtbar (No-Causal-Info Bedingung). Zur Auswahl standen drei Werkzeuge, die jeweils ein funktional relevantes Merkmal aufwiesen (Länge) als auch ein funktional irrelevantes, aber sehr salientes Merkmal (Aussehen des Handgriffs). Untersucht wurde das Lernverhalten der Kinder in einer Trainingsphase sowie in einer Transferphase mit Rückmeldung. Während in der Trainingsphase für alle Versuchsteilnehmer das gleiche Werkzeug-Set zur Auswahl stand, galt das nicht für die Transferphase: In einer High-Conflict-Bedingung wurden Handgriffe und Stablängen neu kombiniert. In einer Low-Conflict-Bedingung wurde ein Set neuer Werkzeuge präsentiert, deren Handgriffe identisch aussahen. Alle Stäbe waren ein Stück länger als die Werkzeuge im Training. Nur das relativ längste Werkzeug war geeignet, die Kugel aus der Röhre zu stoßen, weil diese ebenfalls verlängert war. Durch einen systematischen Vergleich der Auswahlleistungen der Kinder in beiden Causal-Info-Bedingungen sowie in beiden Conflict-Bedingungen versprochen wir uns Aufschluss über die Relevanz kausaler, perzeptueller und funktionaler Merkmale für die Leistung der Kinder.

4.1. Methode

4.1.1. Stichprobe

An Studie 1 nahmen insgesamt $N = 162$ 24 Monate alte Kinder teil (75 Jungen, 87 Mädchen). Diese Altersgruppe wurde gewählt, da sie zum einen über den Altersgruppen der Studien lag, die eher einfache Werkzeuggebrauchssituationen nutzten (z.B. Brown, 1990: 18 Monate; Chen & Siegler, 2000: jüngste Probanden 18 Monate). Zum anderen waren die Kinder etwas jünger als die Probanden in der Studie von Baker und Keen (2007: 30 bis 32 Monate), die einen ähnlichen Aufgabenaufbau nutzten, jedoch eine aktive Durchführung der Aufgabe von den Kindern forderten. Die Daten von 39 Kindern mussten wegen Versuchsleiterfehlern ($n = 4$; 0 Jungen, 4 Mädchen), Eingreifen der Eltern in den Versuchsablauf ($n = 8$; 3 Jungen, 5 Mädchen) oder Unruhe der Kinder ($n = 27$; 15 Jungen, 12 Mädchen) von der Auswertung ausgeschlossen werden. Die Endstichprobe bestand aus $N = 123$ Kindern (57 Jungen, 66 Mädchen). Das mittlere Alter der Kinder betrug 24 Monate und 14 Tage (*Spannweite*: 24 Monate 3 Tage – 24 Monate 31 Tage).

Tabelle 2 zeigt die Verteilung der Versuchsteilnehmer auf die verschiedenen Experimentalbedingungen.

Tabelle 2. Verteilung der Probanden in Studie 1 ($N = 123$) auf die Versuchsbedingungen (getrennt nach Geschlecht) und Anzahl an Kindern pro Bedingung, die das Lernkriterium im Training erreicht haben (Lerner)

	Causal-Info		No-Causal-Info	
	High-Conflict	Low-Conflict	High-Conflict	Low-Conflict
Weiblich	15	20	14	17
Männlich	15	13	15	14
Gesamt	30	33	29	31
Lerner	23 (77%)	25 (76%)	18 (62%)	24 (77%)

Alle Teilnehmer waren kaukasischer Abstammung. Sie wohnten in Heidelberg und Umgebung. Es handelte sich um gesunde, reifgeborene Kinder, die in den meisten Fällen bereits an anderen Studien der Abteilung für Entwicklungspsychologie in Heidelberg teilgenommen hatten und durch unsere Sekretärin kontaktiert worden waren. Wenn auch der sozioökonomische

Hintergrund der Familien gemischt war, so handelte es sich beim Großteil der Eltern um Akademiker.

4.1.2. Versuchsmaterial und Ablauf

In Anlehnung an Studien aus der nicht-menschlichen Primatenforschung zum Werkzeuggebrauch (z.B. Visalberghi & Limongelli, 1994) wurde ein Versuchsdesign entwickelt, bei dem ein Problem mit Hilfe der Auswahl eines Werkzeugs gelöst werden sollte⁶.



Abbildung 10. Versuchsausrüstung (Toolbox) für die Causal-Info- (links) und die No-Causal-Info-Bedingung (rechts). Der Versuchsleiter konnte durch eine Öffnung an der schmalen Seite oben in die Apparatur greifen und eine kleine Kugel im transparenten Rohr platzieren. Versuchspersonen in der Causal-Info-Bedingung konnten in die Apparatur blicken und sehen, dass die Stablänge das kausal relevante Merkmal war. In der No-Causal-Info-Bedingung war die Sicht durch eine Holzabdeckung versperrt und die Teilnehmer erhielten somit keine Information über die Kausalwirkung der Werkzeuge.

⁶ Die Aufgabenentwicklung erfolgte in Kooperation mit der Einheit für Kognitive Primatologie des Nationalen Forschungsrates Rom (CNR), sowie des Max-Planck-Institutes für Evolutionäre Anthropologie Leipzig. Die Aufgabe wurde in Rom mit gehaubten Kapuzineraffen (*Sapajus apella*) und in Leipzig mit Schimpansen (*Pan troglodytes*) durchgeführt (siehe Sabbatini et al., 2012).

Der Versuchsleiter platzierte eine blaue Kugel (\varnothing 1,3 cm) in einem transparenten Rohr (Länge: 20 oder 25 cm, in Abhängigkeit der Versuchsbedingung; \varnothing 1,9 cm), das sich im Innern eines durchsichtigen Apparates aus Plexiglas befand (Toolbox, 39 cm \times 41 cm \times 14,8 cm; siehe Abbildung 10, links). Die Kugel diente als Belohnung. Wenn sie aus dem Rohr gestoßen wurde, rollte sie eine schiefe Ebene (44 cm \times 13 cm) hinab, aus einer rechteckigen Öffnung des Apparates (13 cm \times 5,5 cm) auf den Tisch und konnte dann in eine separate Kiste geworfen werden, aus der ein Klingelton erklang. Ziel war es daher, die Kugel aus der Apparatur zu befördern.

Dazu sollten die Probanden aus drei zur Wahl stehenden Stäben (siehe Abbildung 11) den richtigen (d.h. längsten) auswählen. Die Stäbe unterschieden sich zum einen hinsichtlich der Form und Farbe ihres Griffes, einem perzeptuell sehr salienten, für die Lösung der Aufgabe jedoch kausal irrelevanten Merkmal. Zum anderen konnten die Stäbe auch anhand ihrer Länge, also nach dem funktional relevanten Merkmal unterschieden werden. Nur der längste der drei Stäbe war geeignet, die Aufgabe zu lösen und die Kugel aus dem Rohr zu stoßen.

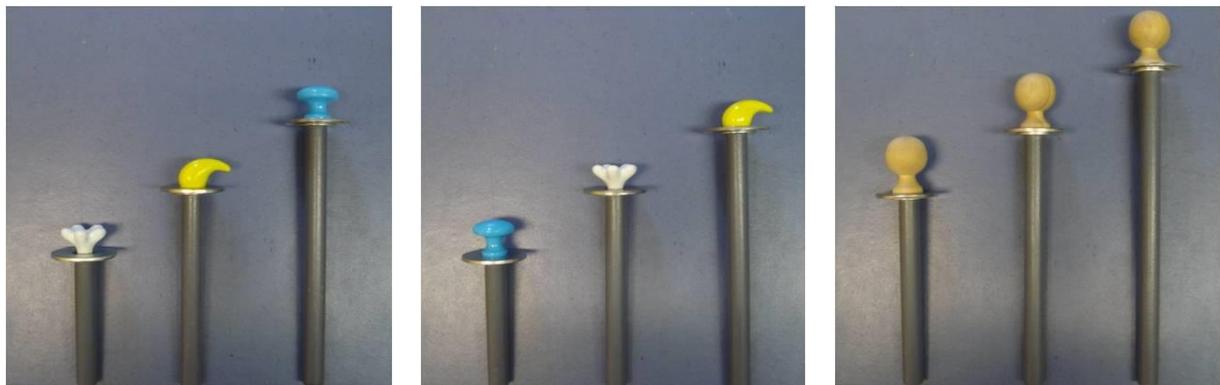


Abbildung 11. Stabsets für die Trainings- und Transferphase. Links: Trainingsset (für alle Bedingungen gleich). Mitte: Transferset für die High-Conflict-Bedingungen, Rechts: Transferset für die Low-Conflict-Bedingungen. Die Länge der Stäbe variierte in 5 cm-Schritten (High-Conflict-Sets: 10-20 cm, Low-Conflict-Sets: 15-25 cm).

Die zur Wahl stehenden Stäbe wurden in einer Auswahlkiste aus weißem Holz mit Plexiglasfront (36 cm \times 28 cm \times 12 cm) präsentiert (siehe Abbildung 12). Um einen Stab auszuwählen, mussten die Versuchsteilnehmer mit einem Finger durch eines von fünf Löchern (\varnothing 1,9 cm) in der Plexiglasfront vor jenem Stab zeigen, der genutzt werden sollte. So konnte die

Stabauswahl eindeutig bestimmt werden. Eine Umentscheidung wurde nicht zugelassen. Der Versuchsleiter nahm den zuerst gewählten Stab sofort aus der Auswahlkiste und steckte ihn anschließend in die Röhre der Apparatur.

Nach einer kurzen Aufwärmphase im Spielzimmer der Abteilung für Entwicklungspsychologie wurden die Teilnehmer in den Versuchsraum geführt. Die Kinder saßen an einem Tisch auf dem Schoß ihres Elternteils. Die Toolbox befand sich gut sichtbar in der linken vorderen Ecke des Tisches. Die Auswahlkiste stand schräg rechts neben dem Kind in Reichweite, so dass alle drei Stabpositionen gut zu erreichen waren (siehe Abbildung 12). Die Eltern wurden angewiesen, nicht mit ihrem Kind zu interagieren. Ermutigungen des Kindes, ein Werkzeug auszuwählen, waren erlaubt, allerdings durften weder Farbe genannt, noch Hinweise zur Lösung der Aufgabe gegeben werden. Fälle, in denen dies dennoch auftrat, wurden von der Auswertung ausgeschlossen (siehe Stichprobenbeschreibung, S. 110).

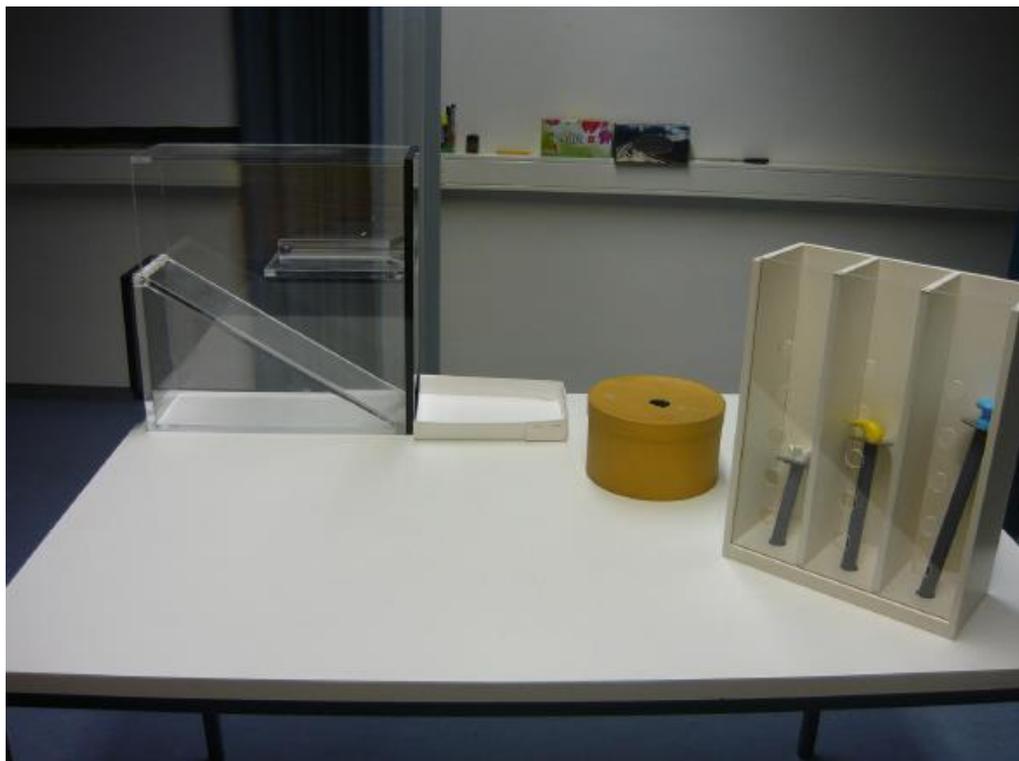


Abbildung 12. Versuchsaufbau aus Sicht des Kindes. V. l. n. r.: Toolbox, Kiste mit integrierter Funkklingel, Auswahlkiste mit Trainingsstabset

Der Versuchsablauf ließ sich in vier Phasen einteilen: (1) *Gewöhnungsphase*, (2) *Demonstration*, (3) *Trainingsphase* und (4) *Transferphase*.

Zunächst wurden dem Kind alle Objekte auf dem Tisch gezeigt (*Gewöhnungsphase*). Der Versuchsleiter griff mit der Hand in die Kiste und zeigte, dass eine Kugel in das Rohr gelegt werden konnte („Schau mal, hier haben wir eine Kiste. Da kann man rein greifen. Ich nehme jetzt die Kugel und lege sie hier rein, so...“). Anschließend ging er zur Auswahlkiste, zeigte dem Kind die Löcher darin und demonstrierte bei jedem Stab einmal, wie er auszuwählen war („Schau mal, hier haben wir noch eine Kiste. Da sind Stäbe drin. Und wenn du nun durch solch ein Loch greifst, dann nehme ich den Stab dahinter raus.“). Im Anschluss daran wurde das Kind ermutigt, selbst einen Stab auszuwählen. Es sollte jeweils einmal jeden Stab ausgewählt haben, bevor der Versuchsleiter fortfuhr. Somit sollte sichergestellt werden, dass die Kinder verstanden hatten, wie ein Stab auszuwählen war.

In der folgenden *Demonstration* benutzte der Versuchsleiter jeden der Stäbe einmal in der Toolbox. Er begann stets mit dem kurzen und endete mit dem langen (korrekten) Stab. Nach jeder Nutzung zeigte der Versuchsleiter Enttäuschung oder Freude, in Abhängigkeit von Erfolg oder Misserfolg, und stellte den Stab wieder in die Auswahlkiste zurück. Anschließend ermutigte er das Kind, selbst einen Stab auszuwählen („Jetzt bist du dran. Kannst du mir zeigen, welcher der richtige Stab ist?“).

In der *Trainingsphase* sollte das Kind nun in mehreren Durchgängen jeweils einen Stab für den Versuchsleiter auswählen. Im ersten Durchgang war die Anordnung der Stäbe in der Auswahlkiste identisch zur Demonstrationsphase. Ab dem zweiten Durchgang jedoch wurden die Positionen der Stäbe nach jedem Durchgang in einer zuvor festgelegten semi-randomisierten Reihenfolge getauscht, um zu vermeiden, dass das Kind lernte, die richtige Position (und nicht den richtigen Stab) zu identifizieren.

Ein Kind wurde als „Lerner“ klassifiziert, wenn es in mindestens sieben aus zwölf Durchgängen den korrekten Stab ausgewählt hatte ($\sum_{k \geq 7} B\left(12, \frac{1}{3}, k\right) < 0.10$). Um zu verhindern, dass Kinder, die das Lernkriterium schnell erreichten, sich langweilten, ermüdeten und unruhig wurden, wurde die Trainingsphase beendet, sobald das Lernkriterium erreicht war. Folglich wurden mindestens sieben und maximal zwölf Durchgänge realisiert.

Am Ende der Trainingsphase nahm der Versuchsleiter alle Stäbe aus der Auswahlkiste, betonte, dass nun etwas Neues folge und holte für die *Transferphase* ein neues Stabset (siehe Abbildung 11, Mitte und rechts). Es gab hierbei zwei unterschiedliche Versuchsbedingungen, eine *High-Conflict*- und eine *Low-Conflict*-Bedingung:

In der *High-Conflict*-Bedingung waren die Griffe der neuen Stäbe im Vergleich zum Trainingsset vertauscht (siehe Abbildung 11, Mitte). Der Griff, der zuvor am längsten Stab angebracht war, war nun am kürzesten, nicht-funktionalen Werkzeug montiert. Es bestand in diesem Fall also ein hoher Konflikt zwischen dem perzeptuellen Merkmal, das zuvor mit Erfolg assoziiert war, und dem funktionalen Merkmal Stablänge.

In der *Low-Conflict*-Bedingung hatten alle drei Stäbe identisch aussehende neutrale runde Holzgriffe, die sich deutlich von den Griffen der Trainingsstäbe unterschieden (siehe Abbildung 11, rechts). Jeder Stab war 5 cm länger als im Training. Nur die Wahl des relativ längsten Stabes führte zum Ziel (funktionales Merkmal ‚relative Länge‘), nicht aber die Wahl des Stabes dessen absolute Länge mit der Länge des korrekten Trainingsstabs übereinstimmte (perzeptuelles Merkmal ‚absolute Länge‘). Folglich waren die Kinder einem Konflikt zwischen der Beachtung der absoluten und der relativen Länge der Stäbe ausgesetzt. Damit auch in diesem Fall nur der längste der drei Stäbe zum Erfolg führte, wurde in dieser Bedingung das Rohr im Innern der Toolbox außer Sichtweite der Kinder ausgetauscht. Das neue Rohr war nun 5 cm länger. Der Versuchsleiter platzierte die neuen Stäbe in der Auswahlkiste („Hier haben wir neue Stäbe.“), stellte im Falle der *Low-Conflict*-Bedingung zudem die Toolbox mit verlängertem Rohr auf den Tisch und forderte das Kind mit den gleichen Worten wie im Training auf, das richtige Werkzeug auszuwählen. Es folgten erneut sieben bis zwölf Durchgänge, in Abhängigkeit von der Motivation des Kindes. Die Versuchsdurchführung dauerte etwa 20 bis 30 Minuten.

Um auch den Einfluss kausaler Informationen auf die Lern- und Transferleistung untersuchen zu können, wurden sowohl die *High-Conflict*- als auch die *Low-Conflict*-Bedingung in zwei Versionen durchgeführt: In der *Causal-Info*-Bedingung konnten die Kinder zu jeder Zeit ins Innere der Toolbox-Apparatur blicken und die kausale Wirkung des Stabes auf die Kugel sehen. In der *No-Causal-Info*-Bedingung hingegen wurde die transparente Plexiglasskiste während der gesamten Durchführung von einer Holzabdeckung umhüllt, so dass nicht ersichtlich war, was im Inneren der Toolbox geschah (siehe Abbildung 10, rechts). Lediglich Erfolg und Misserfolg waren sichtbar.

4.1.3. Spezifische Hypothesen

Es wurde angenommen, dass 24 Monate alte Kinder in der Trainingsphase lernen, das richtige Werkzeug auszuwählen und somit die Mehrheit der Kinder in allen Versuchsbedingungen das Trainingskriterium erreichen würde. Bei der Lösungsdemonstration der Aufgabe sollten sowohl perzeptuell saliente als auch funktionale Werkzeugeigenschaften

enkodiert werden, was sich im Transfer darin zeigen würde, dass potentiell auftretende „perzeptuelle“ Fehler im ersten Transferdurchgang unmittelbar korrigiert würden und ab dem zweiten Durchgang eine Wahl nach funktionalem Merkmal resultieren würde.

Aufgrund der Salienz der perzeptuellen Merkmale sollte es zu Schwierigkeiten beim Transfer funktionaler Merkmale kommen, sobald perzeptuelle und funktionale Informationen im Konflikt stünden. Die Schwierigkeiten sollten umso größer sein, je stärker der Konflikt zwischen perzeptuellen und funktionalen Merkmalen ist, so dass sich eine bessere spontane Transferleistung (1. Transferdurchgang) in der Low- gegenüber der High-Conflict-Bedingung zeigen sollte.

Darüber hinaus wurde vermutet, dass sich Informationen über die kausale Wirkung eines Werkzeugs positiv auf das Enkodieren funktionaler Merkmale und somit auf die Lern- und spontane Transferleistung auswirken sollte. Auch sollte sich der Konflikt zwischen perzeptuellen und funktionalen Merkmalen verstärkt negativ auf die Leistung auswirken, wenn keine kausalen Informationen verfügbar waren, da hierbei möglicherweise im Training assoziatives Lernen gefördert und somit die Verknüpfung zwischen perzeptuellem und funktionalen Merkmal verstärkt würde.

4.1.4. Kodierung und Auswertung

Alle Erhebungen wurden auf Video aufgezeichnet. Bereits während der Erhebung wurde auf einem Kodierbogen nach jedem Durchgang der Erfolg oder Misserfolg eines Kindes festgehalten, um feststellen zu können, ob und wann ein Kind als „Lerner“ klassifiziert werden konnte. Alle Durchgänge wurden darüber hinaus von zwei Personen offline kodiert.

Da sich manche Kinder weigerten, den Finger durch eines der Löcher in der Auswahlkiste zu stecken, wurde von beiden Kodierern getrennt beurteilt, ob die Wahl des Kindes als eindeutig zu bewerten war und der Versuchsleiter somit korrekt gehandelt hatte. Die Entscheidungen der Kinder wurden in fast allen Durchgängen (93%) als eindeutig bewertet. Die Interrater-Übereinstimmung war sehr hoch ($ICC = .97$).

Für die Datenanalyse wurden non-parametrische Verfahren herangezogen, da es sich um Häufigkeitsanalysen handelte und die Daten nicht normalverteilt waren. In die Analyse der Transferleistung gingen nur Daten jener Kinder ein, die das Lernkriterium in der Trainingsphase erreicht und im Transfer mindestens sieben Durchgänge beendet hatten. Bei gerichteten Hypothesen wurde einseitig getestet. Dies ist jeweils hinter den statistischen Kennwerten vermerkt.

4.2. Ergebnisse⁷

4.2.1. Trainingsphase

Hypothesenkonform erreichte die Mehrheit der 24 Monate alten Kinder das Trainingskriterium und lernte somit, den richtigen Stab auszuwählen. Die Lernraten zwischen den Bedingungen unterschieden sich nicht signifikant voneinander ($\chi^2(3) = 2.41, p = .49$). Da die Durchführung der Trainingsphase für die beiden Causal-Info-Gruppen identisch war und sich die Causal-Info/High-Conflict- und die Causal-Info/Low-Conflict-Gruppe auch bezüglich ihrer Leistung im ersten Trainingsdurchgang nicht voneinander unterschieden ($\chi^2(1) = 1.17, p = .28$),

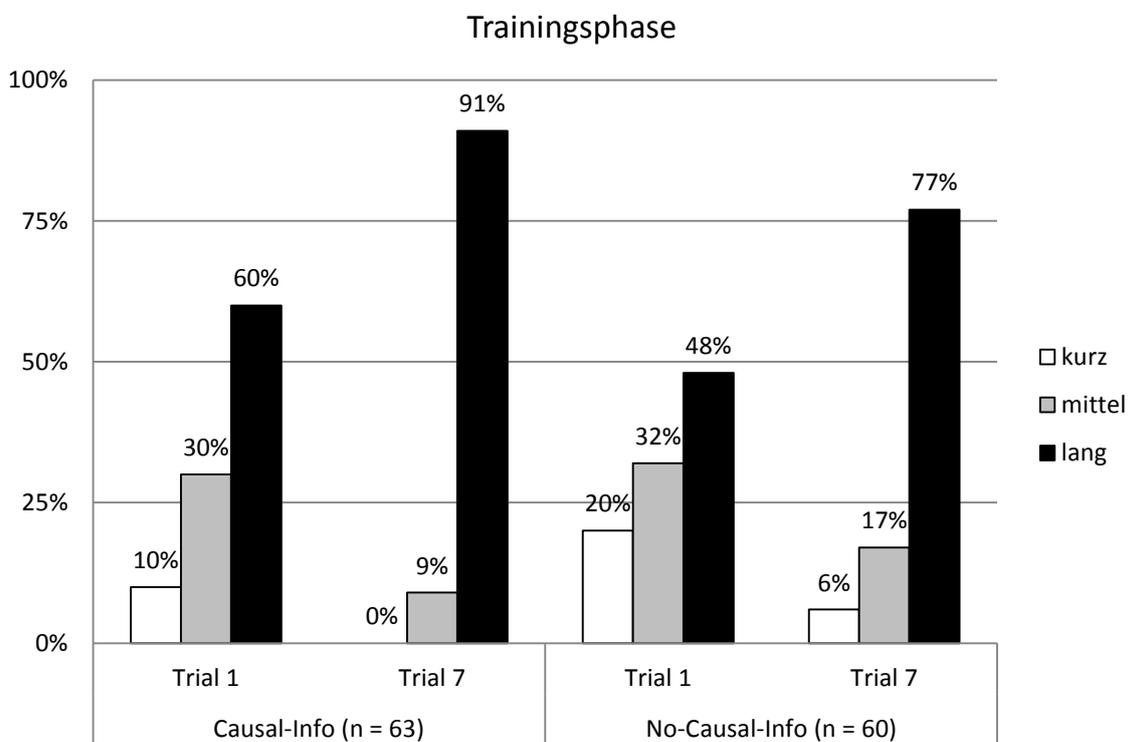


Abbildung 13. Wahlhäufigkeiten aller Stäbe (in %) im 1. und 7. Trainingsdurchgang in der Causal-Info- (oben) und No-Causal-Info-Bedingung (unten) für alle Versuchspersonen

⁷ Erste Ergebnisse eines Teils dieser Studie (Causal-Info/High-Conflict und No-Causal-Info/High-Conflict) wurden bereits in einer Diplomarbeit berichtet (Bechtel, 2011). Die Ergebnisse aller Bedingungen wurden in einem Artikel publiziert (Bechtel, Jeschonek, et al., 2013).

wurden diese Bedingungen zusammengeführt und im Folgenden gemeinsam ausgewertet. Das gleiche gilt für die Daten der No-Causal-Info-Gruppen ($\chi^2(1) = 2.43, p = .12$). Auch sie wurden gemeinsam ausgewertet. Zwischen den vereinten Causal-Info- und No-Causal-Info-Gruppen ergab sich kein Unterschied beim Erreichen des Trainingskriteriums ($\chi^2(1) = 0.60, p = .22$, einseitig). Allerdings zeigte sich, dass weniger Trainingsdurchgänge benötigt wurden, wenn kausale Informationen vorhanden waren ($Z = -1.66, p < .05, \varphi = 0.15$, einseitig).

Zu Beginn der Trainingsphase unterschieden sich die Leistungen zwischen den Causal-Info- und No-Causal-Info-Bedingungen nicht signifikant voneinander ($\chi^2(1) = 1.78, p = .18$). In beiden Fällen wurde bereits im ersten Trainingsdurchgang der funktionale Stab überzufällig häufig ausgewählt (Causal-Info: 60%, $Z = -4.85, p < .001, \varphi = 0.61$; No-Causal-Info: 48%, $Z = -3.18, p = .001, \varphi = 0.41$, siehe Abbildung 13). Diese Leistung steigerte sich über die Trainingsphase hinweg in beiden Gruppen signifikant (7. Trainingstrial – Causal-Info: 91%, $Z = -3.80, p < .001, \varphi = 0.48$; No-Causal-Info: 77%, $Z = -3.27, p = .001, \varphi = 0.42$, siehe Abbildung 13).

Gegen Ende der Trainingsphase lag die Leistung in den Causal-Info-Bedingungen jedoch wie erwartet über jener der No-Causal-Info-Gruppen ($\chi^2(1) = 4.30, p = .02, \omega = 0.19$, einseitig). Auch eine Analyse des Anteils korrekter Wahlen über die gesamte Trainingsphase hinweg bestätigte die Annahme einer besseren Trainingsleistung der Causal-Info- im Vergleich zu den No-Causal-Info-Bedingungen ($Z = -1.86, p = .03, \varphi = 0.17$, einseitig). Die Effektstärke war jedoch gering. Im Training zeigte sich also ein schwacher positiver Effekt kausaler Informationen auf die Lernleistung.

4.2.2. Transferphase

Wie bereits beschrieben, wurden für die Auswertung der Transferleistung nur die Daten jener Kinder herangezogen, die das Lernkriterium der Trainingsphase erreicht und mindestens sieben Transferdurchgänge vollständig absolviert hatten. Die Transferstichprobe bestand daher aus $N = 80$ 24 Monate alte Kinder, die sich annähernd gleich auf die einzelnen Subgruppen verteilten (Causal-Info/High-Conflict: $n = 22$ (12 Jungen, 10 Mädchen), No-Causal-Info/High-Conflict: $n = 18$ (8 Jungen, 10 Mädchen), Causal-Info/Low-Conflict: $n = 20$ (8 Jungen, 12 Mädchen), No-Causal-Info/Low-Conflict: $n = 20$ (10 Jungen, 10 Mädchen)).

Erster Transferdurchgang

Der erste Transferdurchgang ist von besonderer Bedeutung im Hinblick auf die Analyse der kindlichen Transferleistung. Nur hier handelt es sich um wahren Wissenstransfer, denn in diesem Durchgang sehen die Kinder die neuen Werkzeuge zum ersten Mal und haben noch keinerlei Rückmeldung erhalten. Sie müssen daher auf zuvor Gelerntes zurückgreifen oder erneut lernen, welches der richtige Stab ist.

Im Gegensatz zum Beginn der Trainingsphase zeigte sich im ersten Transferdurchgang ein deutlich unterschiedliches Stabwahlmuster zwischen den Bedingungen (*Fisher's exact* = 31.63, $p < .001$, siehe Abbildung 14).

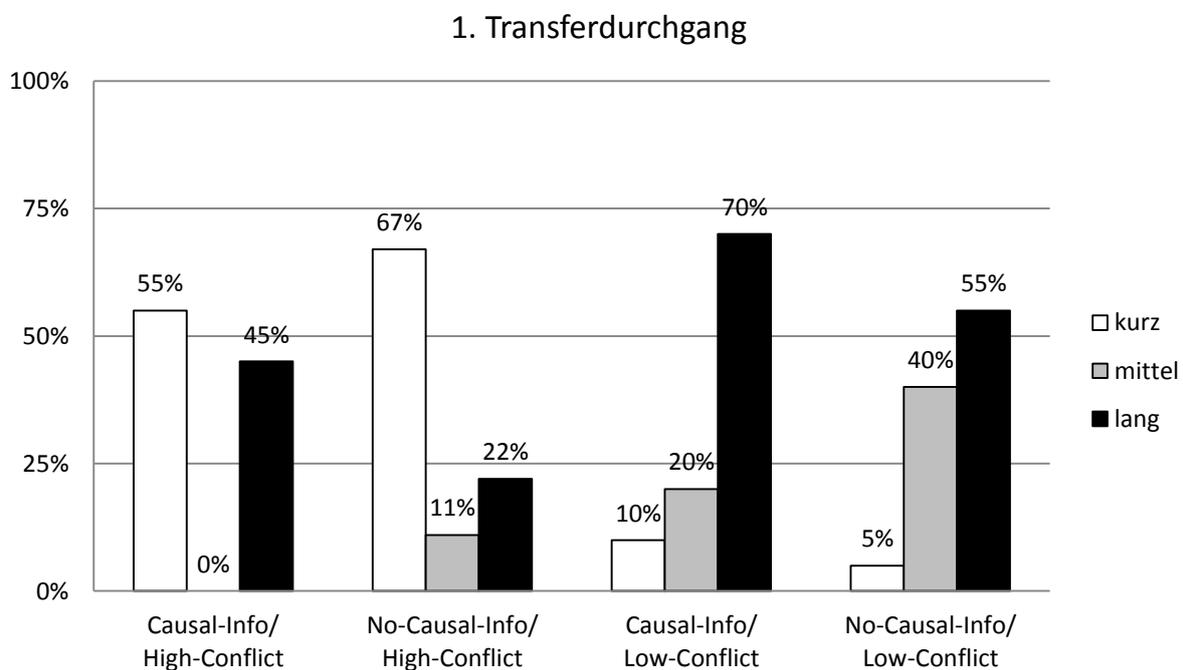


Abbildung 14. Wahlhäufigkeiten aller Stäbe (in %) in jeder Bedingung im 1. Transferdurchgang

In der **Causal-Info/High-Conflict-Bedingung** wurden der lange und der kurze Stab annähernd gleich häufig gewählt ($Z = 0.43$, $p = .67$). Der kurze Stab, der den gleichen Griff besaß wie der lange Stab im Training, wurde zudem überzufällig häufig ausgewählt ($Z = -2.39$, $p = .02$, $\varphi = .51$). Beim langen Stab war dies nur marginal der Fall ($Z = -1.62$, $p = .10$). Der mittellange Stab wurde von keinem der Kinder ausgesucht.

Ein ähnliches Muster zeigte sich in der **No-Causal-Info/High-Conflict-Bedingung**. Der kurze Stab wurde hier jedoch nicht nur überzufällig ($Z = -2.92$, $p < .01$, $\varphi = .69$) und ähnlich

häufig gewählt wie der funktionale, lange Stab, sondern gegenüber diesem sogar präferiert ($Z = -2.00, p < .05, \varphi = 0.47$). Der lange Stab hingegen wurde auf zufällig häufig gewählt ($Z = -0.90, p = .37$) und im Vergleich zur Causal-Info/High-Conflict-Bedingung kam es tendenziell seltener zu korrekten Wahlen ($\chi^2(1) = 2.35, p = .06, \omega = 0.37$, einseitig). Der mittellange Stab wurde überzufällig selten ausgewählt ($Z = -2.40, p = .02, \varphi = 0.57$).

In der **Causal-Info/Low-Conflict-Bedingung**, wurde der kurze Stab seltener gewählt als dies auf Zufallsbasis zu erwarten wäre ($Z = -2.70, p < .01, \varphi = .60$). Hier teilte eben dieser Stab im Gegensatz zu den zuvor berichteten Bedingungen keine perzeptuellen Eigenschaften mit dem korrekten Trainingsstab. Die meisten Kinder wählten bereits im ersten Transferdurchgang den funktionalen, langen Stab aus ($Z = -3.28, p = .001, \varphi = .73$). Der mittellange Stab hingegen, der die absolute Länge mit dem korrekten Stab aus dem Training teilte, wurde nicht überzufällig häufig gewählt ($Z = -1.23, p = .22$).

Auch in der **No-Causal-Info/Low-Conflict-Bedingung** wurde der kurze Stab seltener gewählt als dies auf Zufallsbasis zu erwarten wäre ($Z = -3.55, p < .001, \varphi = 0.79$) und der lange Stab wurde bereits zu Beginn der Transferphase präferiert ($Z = -2.31, p = .02, \varphi = .52$). Dieser Effekt war hier jedoch etwas geringer als in der Bedingung mit kausalen Informationen. Stattdessen wurde der mittellange Stab in der No-Causal-Info/Low-Conflict-Bedingung häufiger gewählt als der kurze Stab ($Z = -2.33, p = .02, \varphi = 0.52$) und marginal häufiger als in der Causal-Info/Low-Conflict-Bedingung ($\chi^2(1) = 1.91, p = .08, \omega = 0.30$, einseitig). Allerdings lag diese Auswahlhäufigkeit immer noch auf dem Zufallsniveau ($Z = -1.04, p = .30$).

Es ist also festzuhalten, dass der mittellange Stab in den beiden High-Conflict-Bedingungen, in denen er keine Attribute mit dem korrekten Trainingsstab teilte, weitgehend vernachlässigt wurde. Stattdessen wählten die Kinder entweder den langen, funktionalen Stab aus oder entschieden sich fälschlicherweise für den kurzen Stab, der perzeptuelle Eigenschaften mit dem funktionalen Trainingsstab teilte. Hypothesenkonform tauchte dieser „perzeptuelle“ Fehler häufiger auf, wenn keine Informationen über die kausale Wirkung der Stäbe verfügbar waren, d.h. in der No-Causal-Info/High-Conflict-Bedingung.

Im Gegensatz hierzu zeigte sich eine gute spontane Transferleistung in beiden Low-Conflict-Bedingungen, in denen der Konflikt zwischen perzeptuellen und funktionalen Informationen geringer war. Das funktionale Werkzeug wurde bereits im ersten Transferdurchgang präferiert. Dies war auch dann der Fall, wenn keine kausalen Informationen zur Verfügung standen. Die Erfolgsrate in der Causal-Info-Bedingung lag jedoch leicht über jener der No-Causal-Info-Bedingung.

In den Low-Conflict-Bedingungen war die Länge die einzige Dimension anhand derer sich die Werkzeuge unterschieden. Die Werkzeuge konnten nicht mehr anhand ihrer Griffattribute differenziert werden. Somit lag kein Konflikt zwischen Griffmerkmalen und dem funktionalen Aspekt der Länge vor. Um erfolgreich zu sein, musste jedoch immer noch auf die relative Länge der Werkzeuge geachtet und die absolute Länge ignoriert werden. Da in beiden Low-Conflict-Bedingungen das Rohr im Transfer verlängert worden war und die Stäbe insgesamt länger waren, führte eine Wahl nach absoluter Stablänge zum Misserfolg. Es bestand also auch hier ein perzeptueller Konflikt, nämlich jener zwischen der absoluten und der relativen Stablänge.

Zweiter Transferdurchgang und Leistungsverläufe über Transferphase

Während der erste Durchgang die spontane Transferleistung der Kinder erfasst, lassen der zweite Durchgang und die folgenden Transferdurchgänge Rückschlüsse auf den Umgang mit Rückmeldungen und die Anpassungsfähigkeit der Kinder zu. Der zweite Transferdurchgang spiegelt das Verhalten der Kinder direkt nach der erhaltenen positiven oder negativen Rückmeldung aus dem ersten Durchgang wider. Die Folgedurchgänge zeigen die längerfristige Anpassungs- und Stabilisierungsfähigkeit.

Auch hinsichtlich der Stabwahlen im zweiten Transferdurchgang und den Folgedurchgängen kam es zu Unterschieden zwischen den Bedingungen, allerdings in deutlich schwächerer Ausprägung als im ersten Transferdurchgang (siehe Abbildung 15).

In der **Causal-Info/High-Conflict-Bedingung** schienen die Kinder die Rückmeldung, die sie durch den ersten Transferdurchgang erhalten hatten, zu nutzen und wählten bereits im zweiten Transferdurchgang überzufällig häufig den langen, funktionalen Stab ($Z = -3.05$, $p < .01$, $\varphi = .65$), häufiger als den kurzen Stab mit blauem Griff ($Z = -3.00$, $p < .01$, $\varphi = 0.64$), der zuvor annähernd gleich häufig ausgewählt wurde wie der funktionale Stab. In den darauffolgenden Durchgängen festigte sich diese Präferenz und es kam nur noch gelegentlich zu einer Wahl des kurzen oder mittellangen Stabes.

In der **No-Causal-Info/High-Conflict-Bedingung** ergab sich ein vergleichbares Bild. Auch hier gaben die Kinder bereits im zweiten Durchgang dem funktionalen Stab gegenüber dem kurzen Stab den Vorzug ($Z = -2.14$, $p = .03$, $\varphi = .59$) und wählten ihn auch überzufällig häufig aus ($Z = -2.59$, $p = .01$, $\varphi = .61$). Auch hier wurde im weiteren Verlauf zumeist das korrekte Werkzeug ausgewählt. Allerdings zeigt sich ein etwas weniger stabiles Leistungsbild im Vergleich zur Causal-Info/High-Conflict-Bedingung (siehe Abbildung 15, Durchgang 4).

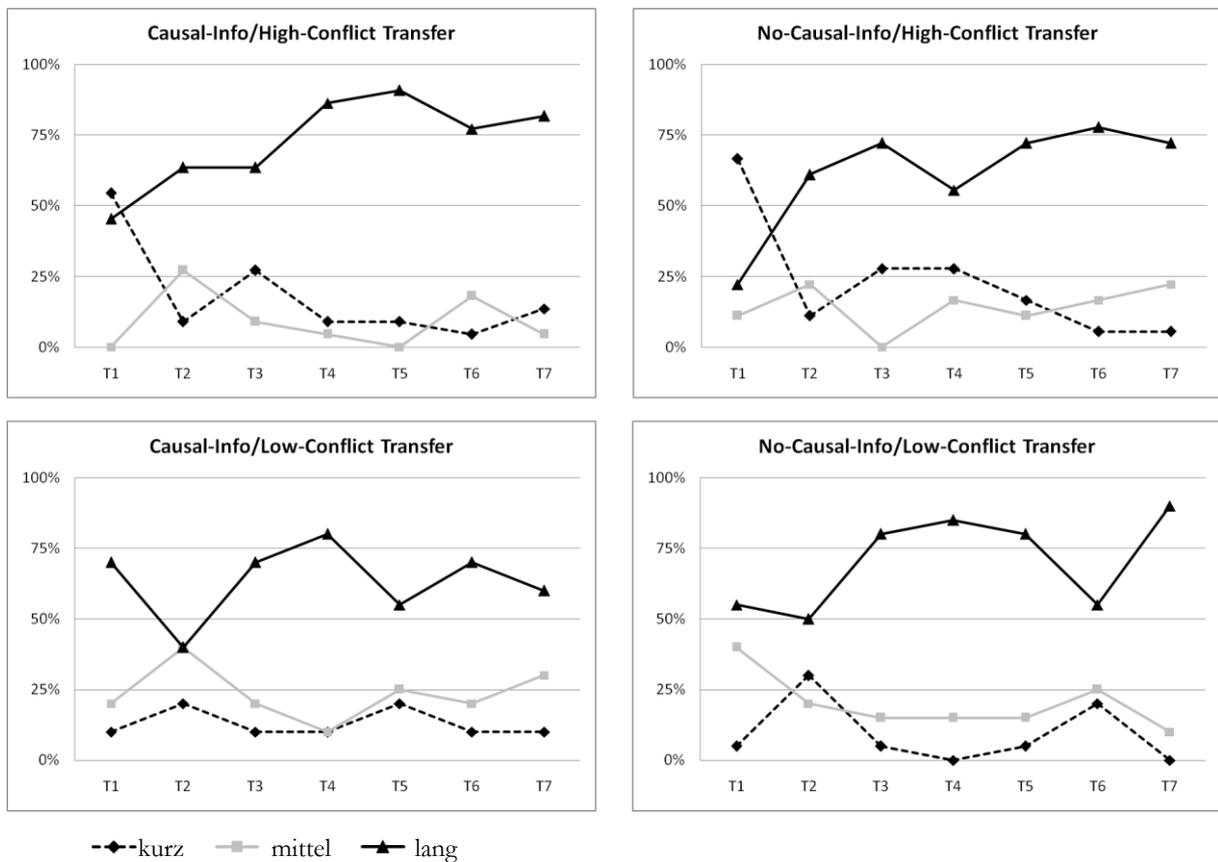


Abbildung 15. Verlaufskurve der Wahlhäufigkeiten (in %) aller Stäbe in jeder Bedingung in der Transferphase

Im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen Bedingungen zeigte sich in der **Causal-Info/Low-Conflict-Bedingung** keine Stabpräferenz ($\chi^2(2) = 1.60, p = .45$). Zwar wurde im ersten Transferdurchgang der funktionale Stab präferiert, im darauffolgenden Durchgang sank die Wahlhäufigkeit des korrekten Stabes jedoch. Stattdessen stieg die Wahlhäufigkeit des mittellangen Stabes an, der hinsichtlich seiner absoluten Längen dem korrekten Stab der Trainingsphase entsprach. Der lange und der mittellange Stab wurden im zweiten Transferdurchgang gleich häufig gewählt (beide zu 40%). Die Wahlhäufigkeit aller Stäbe entsprach jedoch dem Zufallsniveau (kurz: $Z = -1.23, p = .22$, mittel und lang: $Z = -1.04, p = .30$). Im darauffolgenden dritten Durchgang wurde der funktionale Stab jedoch wieder deutlich präferiert und überzufällig häufig ausgewählt (70%, $Z = -3.28, p = .001, \varphi = .73$). Der mittellange Stab wurde nur noch auf Zufallsniveau ausgewählt ($Z = -1.23, p = .22$). Dieses Muster stabilisierte sich in den darauffolgenden Durchgängen, so dass der funktionale Stab stets

präferiert wurde, auch wenn es im fünften Durchgang zu einem leichten Rückgang der Auswahlhäufigkeit kam.

In der **No-Causal-Info/Low-Conflict-Bedingung** zeigte sich ein ähnliches Muster im zweiten Transferdurchgang. Es gab keine Stabpräferenz und die Wahlhäufigkeiten der einzelnen Stäbe lagen auf dem Zufallsniveau ($\chi^2(2) = 2.80$, $p = .25$; kurz: $Z = 0.00$, $p = 1.00$, mittel: 20%, $Z = -1.23$, $p = .22$, lang: 50%, $Z = -1.92$, $p = .06$). Im Gegensatz zur Causal-Info/Low-Conflict-Bedingung kam es hier jedoch nicht zu einem Anstieg der Wahlhäufigkeit des mittellangen Stabes. In den folgenden Durchgängen stabilisierte sich auch in dieser Bedingung die Leistung und das funktionale Werkzeug wurde stets präferiert (3. Durchgang: 80%, $Z = -3.78$, $p < .001$, $\varphi = .85$). Zudem kam es ebenfalls in einem Durchgang gegen Ende der Transferphase (hier im siebten Durchgang, siehe Abbildung 15) zu einem kurzzeitigen Rückgang der Wahlhäufigkeit des korrekten Stabes.

4.3. Diskussion

4.3.1. Trainingsphase

Die Ergebnisse der Trainingsphase zeigten, dass 24 Monate alte Kinder in der Lage waren, überzufällig häufig ein funktionales Werkzeug aus drei zur Wahl stehenden Stäben auszuwählen, nachdem sie eine Demonstration aller Werkzeuge gesehen hatten. Dies steht im Einklang mit Arbeiten zum sozialen Objektlernen, die mehrfach belegen konnten, dass Kleinkinder von der Beobachtung anderer beim Nutzen von Werkzeugen profitieren und die gewonnenen Informationen für ihr Verhalten nutzen (Esseily, Nadel, & Fagard, 2010; Gardiner, Bjorklund, Greif, & Gray, 2012). Beobachtungslernen scheint eine Schlüsselrolle bei der Weitergabe von Wissen über Werkzeuge zu spielen (Flynn & Whiten, 2013; Hopper et al., 2010; Nielsen, Subiaul, Galef, Zentall, & Whiten, 2012; Nielsen, 2006; Tennie, Call, & Tomasello, 2009; Tomasello, 1998, 2001, 2010; Want & Harris, 2002).

Förderlich scheint hierfür auch ein pädagogischer Lehrkontext zu sein, der durch ostensive Signale (z.B. Augenkontakt, Ammensprache, Anlächeln, kontingente Reaktion auf das Kind) aufgebaut wird (Csibra & Gergely, 2009, 2011). Auch in der vorliegenden Studie wurde eine solche Situation hergestellt. Der Versuchsleiter lächelte das Kind an, stellte Augenkontakt her und vergewisserte sich stets der Aufmerksamkeit des Kindes.

Die vorliegende Studie kann jedoch weder Aussagen über das Ausmaß des Einflusses einer Demonstration auf die Auswahl eines Werkzeugs treffen, noch kann der Einfluss ostensiver Signale bewertet werden. Hierzu fehlen Kontrollbedingungen ohne ostensive Signale und ohne

Demonstration. Was jedoch deutlich wird ist, dass in solchen Kontexten eine Mehrzahl der Kinder die korrekte Wahl treffen kann und Rückmeldungen offensichtlich dazu genutzt werden, das Verhalten entsprechend anzupassen und somit die Leistung zu steigern. Es ergaben sich hierbei keine Unterschiede zwischen den Bedingungen.

Trotz guter Leistung in beiden Bedingungen zeigte sich dennoch hypothesenkonform ein förderlicher Effekt kausaler Informationen auf die Lernleistung. Möglicherweise lenkte der sichtbare kausale Mechanismus im Inneren der Apparatur die Aufmerksamkeit stärker auf den funktionalen Aspekt des Werkzeuges. Zwar erreichte ein vergleichbarer Prozentsatz an Kindern in beiden Gruppen das Trainingskriterium, es wurden hierfür aber weniger Trainingsdurchgänge benötigt und die Rate korrekter Wahlen am Ende der Trainingsphase war höher, wenn Information über die kausale Wirkung des Werkzeuges in der Apparatur zugänglich waren. Dieser Effekt war jedoch als gering einzustufen, was damit zusammenhängen könnte, dass die Kinder ohnehin eine gute Leistung zeigten und die kausalen Informationen somit nur noch einen geringen positiven Beitrag liefern konnten. Bei komplexeren Aufgaben oder in Situationen ohne soziale Demonstration könnte der Effekt deutlicher zum Tragen kommen.

4.3.2. Transferphase

Konflikt zwischen perzeptuellen und funktionalen Merkmalen (Cross-Mapping)

Wie erwartet war im ersten Transferdurchgang die Tendenz zu erkennen, Werkzeuge nach salienten perzeptuellen Merkmalen auszuwählen. In den High-Conflict-Bedingungen wählte über die Hälfte der Kinder den kurzen Stab, dessen Griff dem Griff des korrekten Trainingsstabes gleich (Causal-Info/High-Conflict: 55%, No-Causal-Info/High-Conflict: 67%). Dieser Fehler trat jedoch nur auf, wenn der Konflikt zwischen perzeptuellen und funktionalen Merkmalen hoch war. In beiden Low-Conflict-Bedingungen gelang den Kindern der Wissenstransfer überzufällig häufig, so dass sie bereits im ersten Transferdurchgang das funktional korrekte Werkzeug auswählten und den mittellangen Stab, der die gleiche absolute Länge besaß wie der korrekte Trainingsstab, weitestgehend ignorierten.

In der Analogieforschung wird vielfach vom negativen Einfluss eines Konfliktes zwischen perzeptuellen und funktionalen Werkzeugmerkmalen auf die Transferleistung berichtet. Kleinkinder und selbst Vorschüler scheinen sich in Cross-Mapping-Aufgaben häufig noch von salienten Oberflächenmerkmalen ablenken zu lassen und funktional relevante Eigenschaften zu ignorieren (siehe Kapitel 2.6., S. 64; Gentner & Colhoun, 2008; Gentner & Markman, 1997; Pierce & Gholson, 1994; Rattermann & Gentner, 1998).

Einfluss kausaler Informationen auf die Cross-Mapping-Leistung

Cross-Mapping-Aufgaben scheinen auch für Kleinkinder eher lösbar zu sein, wenn sie die für die Lösung relevanten Kausalzusammenhänge verstehen (Brown, 1990; Gelman et al., 1980; Goswami & Brown, 1989; Singer-Freeman & Bauer, 2008; Singer-Freeman, 2005). Die Befunde der vorliegenden Studie unterstützen dies, da sich der Zugang zu kausalen Informationen in positiver Weise auf die Rate perzeptueller Fehler auswirkte; sie stehen somit im Einklang mit dem Relational-Primacy-Ansatz (Goswami, 1991, 1992, 1995; siehe Kapitel 2.6.4., S. 69).

Vor allem in den High-Conflict-Bedingungen beeinflussten die Informationen zur Kausalwirkung der Werkzeuge die Fehlerrate: In der No-Causal-Info-Bedingung kam es zu deutlich mehr Wahlen des kurzen Stabes als in der Causal-Info-Bedingung. Zwar gelang es den Kindern in beiden Low-Conflict-Bedingungen überzufällig häufig, bereits im ersten Transferdurchgang die richtige Wahl zu treffen. Interessanterweise zeigte sich jedoch im darauffolgenden Durchgang eine leicht erhöhte Wahlhäufigkeit des mittellangen Stabes in der Causal-Info/Low-Conflict-Bedingung.

Um dies zu verstehen, sollte bedacht werden, dass die Kinder nicht gesehen hatten, dass das Rohr im Inneren der Apparatur zwischen der Trainings- und der Transferphase ausgetauscht wurde. Möglicherweise illustriert daher der Anstieg der Wahlhäufigkeit des mittleren Stabes den Versuch, herauszufinden, ob auch die gleiche absolute Länge noch funktional ist. Es wäre ja durchaus denkbar, dass es mehrere richtige Alternativen gibt. Nachdem die Kinder erfahren hatten, dass dies nicht der Fall war, stieg die Leistung im darauffolgenden Durchgang unmittelbar wieder an und stabilisierte sich.

Hatten die Kinder hingegen nie gesehen, dass sich im Inneren des Apparates ein Rohr befand (No-Causal-Info), zeigte sich dieses Verhaltensmuster nicht. Der lange Stab wurde unmittelbar präferiert und im zweiten Durchgang ergab sich diesbezüglich keine Änderung. Allerdings zeigte sich in diesem Fall die Tendenz, den mittellangen Stab im ersten Transferdurchgang häufiger zu wählen als den kurzen Stab, was darauf hindeuten könnte, dass die absolute Länge in der Trainingsphase als perzeptuell mit dem Erfolg assoziiertes Merkmal enkodiert wurde und einen gewissen Einfluss auf den unmittelbaren Transfer ausübte.

Vorteile der Sensitivität für perzeptuell auffällige Merkmale

Die Tendenz, besonders empfänglich für perzeptuell auffällige Merkmale zu sein, muss nicht unbedingt negativ bewertet werden. Es kann durchaus nützlich und äußerst ökonomisch sein, sich auf schneller zu erkennende Oberflächenmerkmale zu verlassen, die zuvor stets mit Erfolg assoziiert waren. Kinder lernen bereits sehr früh, dass die äußere Erscheinung von

Objekten zumeist mit deren funktionalen Eigenschaften korreliert (z.B. Madole et al., 1993; siehe auch Kapitel 2.3.2., S. 38). Es muss sich hierbei nicht unbedingt um eine kausal relevante Verknüpfung handeln.

In der Studie von Madole und Cohen (1995) lernten 14 Monate alte Kinder beispielsweise den Zusammenhang zwischen dem Teilstück eines Objektes (z.B. der Form eines Teiles, das auf dem Objekt montiert war) und einem Effekt, der durch andere Teilstücke bewirkt wurde (z.B. konnte das Objekt rollen oder nicht). Nicht immer sind also die auffälligsten Eigenschaften eines Objektes mit dessen kausalwirksamen Eigenschaften verknüpft. Strategien assoziativen Lernens stellen kein Problem dar, solange die besonders salienten Teilstücke nicht im Konflikt zu weniger salienten, aber kausal relevanten Teilstücken stehen. Im Training ist es also durchaus erfolgversprechend, sich an einem besonders salienten Merkmal (Griffform und -farbe) zu orientieren, das assoziativ mit Erfolg verknüpft ist. Geraten die beiden Merkmale jedoch in Konflikt, was in der vorliegenden Transferphase der Fall war, so führt eine Orientierung an salienten Merkmalen zu Misserfolg.

Enkodierung perzeptueller und funktionaler Werkzeugmerkmale

Dass neben perzeptuell salienten Merkmalen auch funktionale Werkzeugeigenschaften im Training enkodiert wurden, zeigte sich in den ersten beiden Transferdurchgängen. Nachdem es im Falle eines hohen Konfliktes zwischen perzeptuellen und funktionalen Werkzeugeigenschaften zunächst zu Fehlern kam, fand bereits im darauffolgenden Durchgang eine Fehlerkorrektur statt. Diese schnelle Korrektur deutet an, dass die Kinder neben den salienten perzeptuellen Merkmalen auch funktionale Merkmale enkodiert hatten, die nach einer negativen Rückmeldung abgerufen und in eine korrekte Handlung umgesetzt werden konnten. Hätten die Kinder lediglich die auffälligen, aber irrelevanten Merkmale enkodiert, so wäre nach negativer Rückmeldung im ersten Transferdurchgang eine zufällige Auswahl eines Stabes im zweiten Durchgang zu erwarten gewesen.

Auch in den beiden Low-Conflict-Bedingungen wurden anscheinend beide Merkmale enkodiert. Zumindest bietet diese Annahme eine Erklärung dafür, warum die Kinder im zweiten Durchgang den mittellangen Stab ausprobierten, ehe sie den langen Stab konsistent präferierten.

Offenheit für Lösungsalternativen und flexibles Anpassen an Rückmeldung

Die Offenheit für Lösungsalternativen in der Causal-Info/Low-Conflict-Bedingung, sowie das beobachtete direkte Nutzen von Feedback in allen Bedingungen verdeutlicht eine beachtlich

flexible Verhaltensanpassung der Kinder. Rückmeldung konnte unmittelbar genutzt, das Verhalten flexibel angepasst werden. Dies steht im Widerspruch zu Studien zur Transferfähigkeit beim Werkzeuggebrauch im Kleinkindalter, in denen Rückmeldungen keinen positiven Effekt auf die Leistung in einer neuen Situation hatten und zwei bis drei Jahre alte Kinder vielmehr perseveratives und inflexibles Verhalten zeigten (z.B. Baker & Keen, 2007).

Die genannten Studien unterscheiden sich jedoch in einem Punkt maßgeblich von der hier vorgestellten Studie. Die Kinder nutzten die Werkzeuge selbst, während sie in der vorliegenden Studie lediglich ein Werkzeug auswählten, nicht aber selbst nutzen mussten. Zwar gibt es einerseits Hinweise darauf, dass sich eigene Erfahrung mit Objekten positiv auf das Verständnis funktionaler Handlungen auswirken kann (Loucks & Sommerville, 2012; Sommerville et al., 2008, 2005). Andererseits impliziert der eigenständige Werkzeuggebrauch aber auch die Planung und korrekte Steuerung feinmotorischer Handlungen, wofür Prozesse der zielgerichteten, flexiblen Verhaltenskontrolle und -modifikation (d.h. Exekutive Funktionen) notwendig sind. Wie in Kapitel 3.3. beschrieben (siehe S. 78) entwickeln sich diese Prozesse gerade in den ersten Lebensjahren maßgeblich (siehe auch Diamond, 2013; Garon et al., 2008). Die notwendigen kognitiven Ressourcen, die für die Handlungsausführung benötigt werden, fehlen dann womöglich für die Ausführung anderer Prozesse, wie z.B. das adäquate Umsetzen von negativer Rückmeldung oder das Verstehen kausaler Zusammenhänge.

In einer reinen Beobachtungssituation können sich die Kinder hingegen auf eben diese Prozesse konzentrieren und somit in komplexeren Werkzeugaufgaben womöglich eher von Beobachtung als von eigener Erfahrung profitieren. Dies steht im Einklang mit neueren Befunden die zeigen, dass zwei bis drei Jahre alte Kinder hinsichtlich der Lösung einer Werkzeugaufgabe mehr von einer reinen Beobachtungssituation profitieren als von einer Kombination aus eigener Erfahrung mit den Werkzeugen und Beobachtung einer anderen Person (Gardiner et al., 2012).

4.3.3. Fazit

Die Ergebnisse zeigen, dass bereits Kleinkinder im Alter von 24 Monaten dazu in der Lage zu sein scheinen, in einer sozialen Beobachtungssituation sowohl saliente perzeptuelle als auch funktional relevante Eigenschaften eines Werkzeugs zu enkodieren und das korrekte Werkzeug für eine andere Person auszuwählen. Sie scheinen dabei auch Informationen über die kausale Wirkung eines Werkzeugs und Rückmeldungen über die Funktionalität ihrer Wahl zu berücksichtigen und ihr Verhalten entsprechend anpassen zu können.

Zwar fiel den Kindern in der vorliegenden Studie der spontane Wissenstransfer auf eine ähnliche Situation noch schwer, wenn sich sehr saliente irrelevante und funktional relevante Merkmale widersprachen, sie konnten ihr Verhalten jedoch sehr schnell anpassen. Anscheinend testeten die Kinder sogar dann potentielle funktionale Alternativen aus, wenn sie die richtige Lösung bereits gefunden hatten.

In Anbetracht häufig auftretender Perseverationstendenzen im Kleinkindalter, die vor allem dann auftreten, wenn eine bestimmte Strategie oder Verhaltensweise positiv verstärkt wird (Smitsman & Cox, 2008; Want & Harris, 2001; Zelazo et al., 2003), erscheint dieser Befund bemerkenswert. Er wirft die grundlegende Frage auf, ob jüngere Altersgruppen in der vorliegenden Aufgabe ein ähnliches Verhalten zeigen oder ob sich die Flexibilität im Antwortverhalten mit dem Alter entwickelt. Dieser Frage wurde in Studie 2 nachgegangen.

5. Entwicklung der Lern-, Transfer- und Anpassungsfähigkeit im zweiten Lebensjahr (Studie 2)

Um ein umfassenderes Bild der Entwicklung der Hilfsmittelwahl, sowie der Transfer- und Anpassungsfähigkeit zu erhalten, wurden in Studie 2 mehrere Altersgruppen zwischen eineinhalb und zwei Jahren mit dem oben beschriebenen Paradigma (Bechtel, Jeschonek, & Pauen, 2013) untersucht.

5.1. Methode

5.1.1. Stichprobe

Zunächst wurde eine Stichprobe 18 Monate alter Kinder erhoben. Kinder diesen Alters scheinen bereits von Werkzeugdemonstrationen lernen zu können (Brown, 1990; Chen & Siegler, 2000; Rat-Fischer et al., 2012), während dies nicht für jüngere Altersgruppen gilt (Rat-Fischer et al., 2012). Im Anschluss folgten Erhebungen 20 und 22 Monate alter Kinder mit der gleichen Aufgabe. Die oben beschriebenen Daten der 24 Monate alten Kinder in der Causal-Info/High-Conflict-Bedingung wurden reanalysiert und mit Daten der anderen Altersgruppen verglichen.

Insgesamt nahmen an Studie 2 $N = 132$ Kinder teil⁸ (63 Jungen, 69 Mädchen). Daten von 39 Kindern mussten von der Auswertung ausgeschlossen werden wegen Versuchsleiterfehlern ($n = 10$; 5 Jungen; 5 Mädchen), Eingreifen der Eltern ($n = 3$; 3 Jungen) oder Unruhe der Kinder ($n = 26$; 11 Jungen, 15 Mädchen). Die Ausfallrate aufgrund von Versuchsleiterfehlern war in der jüngsten Altersgruppe höher als in allen anderen Gruppen. In diesen Fällen war eine wissenschaftliche Hilfskraft für die Erhebung der Daten zuständig, die systematische Fehler bei der Umsetzung der Aufgabe gemacht hatte, die erst bei der Offline-Kodierung erkannt wurden.

Die Endstichprobe setzte sich aus $N = 93$ Kindern (44 Jungen, 49 Mädchen) zusammen. Tabelle 3 sind die Aufteilung auf die unterschiedlichen Altersgruppen, das Geschlechterverhältnis, sowie Ausfallraten und deskriptive Maße zum Alter der Kinder zu entnehmen.

Es handelte sich bei allen Kindern um reif geborene, gesunde Kinder kaukasischer Abstammung aus dem Großraum Heidelberg. Wie bei Studie 1 hatten die meisten Teilnehmer bereits an anderen entwicklungspsychologischen Studien in Heidelberg teilgenommen und

⁸ Eingeschlossen sind dabei die 24 Monate alten Kinder aus Studie 1 (Causal-Info/High-Conflict), deren Daten erneut analysiert wurden. Neu erhoben wurden die Daten von $N = 97$ Kindern (46 Jungen, 51 Mädchen).

wurden ebenfalls per Telefon rekrutiert. Die meisten Eltern hatten einen akademischen Hintergrund.

Tabelle 3. Verteilung der Versuchspersonen in Studie 2 ($N = 93$) nach Alter und Geschlecht, sowie Ausfallraten und deskriptive Maße zum Alter der Kinder

	18 Monate	20 Monate	22 Monate	24 Monate
Mittleres Alter in Monaten;Tagen (<i>SD</i> in Tagen)	18;18 (7)	20;14 (8)	22;13 (8)	24;12 (6)
Weiblich	10	11	13	15
Männlich	8	7	14	15
Gesamt	18	18	27	30
Ausfall gesamt	23	6	5	5
Ausfall aufgrund von Unruhe	13 (32%)	5 (21%)	4(13%)	4(11%)

5.1.2. Versuchsmaterial und Ablauf

Versuchsmaterial und Durchführung waren identisch zur Causal-Info/High-Conflict-Bedingung in Studie 1. Die kausale Variante der Versuchsdurchführung wurde gewählt, da sich gezeigt hatte, dass kausale Informationen über den Aufgabenmechanismus die Lernleistung der Kinder leicht positiv zu beeinflussen schien. Die Leistung jüngerer Altersgruppen sollte zunächst mit der einfachsten Aufgabenversion untersucht werden, da eine geringere Aufmerksamkeits- und Lernleistung im Vergleich zu den 24 Monate alten Kindern angenommen wurde. Die kausale Version mit hohem Konflikt zwischen perzeptuellen und funktionalen Werkzeugmerkmalen in der Transferphase (Causal-Info/High-Conflict) wurde ausgewählt, da sie für die Untersuchung der Anpassungsleistung der Kinder von besonderer Relevanz war: Die flexible Anpassung der 24 Monate alten Kinder zeigte sich bei hohem Konflikt besonders deutlich.

Die Datenerhebung verlief äquivalent zu Studie 1. Die Kinder saßen auf dem Schoß der Mutter, die angewiesen war, nicht mit dem Kind zu interagieren. Sie erhielten eine *Familiarisierungs-* und *Demonstrationsphase*, auf welche *Trainings-* und *Transferphase* folgten. Die Untersuchungsdauer lag auch hier bei 20 bis 30 Minuten.

5.1.3. Spezifische Hypothesen

Erster Trainingsdurchgang

Es wurden keine Unterschiede zwischen den untersuchten Altersgruppen hinsichtlich der Leistung im ersten Trainingsdurchgang erwartet.

Im vorliegenden Fall demonstrierte der Versuchsleiter in der Demonstrationsphase welche Werkzeuge mit Erfolg bzw. mit Misserfolg assoziiert waren. Er nutzte zuerst die beiden nicht-funktionalen Werkzeuge und zeigte dem Kind anschließend, wie man erfolgreich an die Kugel im Inneren der Kiste gelangen konnte, indem er den langen Stab mit blauem Griff verwendete. Nach der Demonstration des korrekten Werkzeugs wurde der Stab wieder an dieselbe Position in der Auswahlkiste zurückgestellt. Die Anordnung der drei Werkzeuge im ersten Trainingsdurchgang war somit identisch zu jener in der Demonstrationsphase.

Da bereits 18 Monate alte Kinder Werkzeugdemonstrationen für die Auswahl eines Hilfsmittels zu nutzen scheinen (Brown, 1990; Chen & Siegler, 2000; Rat-Fischer et al., 2012), das korrekte Werkzeug vom Versuchsleiter darüber hinaus zuletzt demonstriert wurde, unmittelbar bevor das Kind selbst das erste Mal auswählen musste, und sich die Position der Werkzeuge in der Auswahlkiste nicht veränderte, wurde angenommen, dass der korrekte Stab in allen Altersgruppen bereits im ersten Trainingsdurchgang überzufällig häufig ausgewählt werden würde.

Lernleistung in der Trainingsphase

Im Gegensatz zum ersten Trainingsdurchgang wurde in den darauffolgenden Durchgängen stets die Stabanordnung in der Auswahlkiste verändert, so dass man sich nicht an der korrekten Position des vorigen Durchgangs orientieren konnte, um erfolgreich ein Werkzeug auszuwählen. Das Kind musste das funktionale Werkzeug also entweder anhand dessen perzeptuell salienten Griffmerkmalen oder nach dem funktionalen Merkmal Länge auswählen.

Ein Durchgang bestand aus der Aneinanderreihung einer Vielzahl von Ereignissen: Zunächst musste der Stab identifiziert werden, dann musste der Finger durch eines der Löcher vor dem gewünschten Stab gesteckt werden; der Versuchsleiter nahm dann den Stab und nutzte ihn in der Apparatur. Erst dann wurde die Wirkung des Werkzeuges sichtbar. Entweder wirkte es kausal auf die Kugel und stieß sie aus der Röhre oder es bestand kein Kontakt zur Kugel und sie fiel daher nicht aus dem Rohr. Der Ausgang dieses Ereignisses wurde durch den Versuchsleiter verbal und mimisch begleitet, ehe die Kugel dem Kind übergeben wurde (Erfolg) oder der gewählte Stab an einer anderen Position zurück in die Auswahlkiste gestellt wurde (Misserfolg).

Es handelt sich also um eine komplexe Ereignissequenz. Relevante Teile dieser Sequenz müssen identifiziert und für die eigene Handlung, d.h. für die Wahl eines Stabes, genutzt werden.

Die vielen Handlungsschritte könnten es insbesondere jüngeren Kindern erschweren, relevante Werkzeugmerkmale zu identifizieren und zu fokussieren. Gerade in den ersten Lebensjahren zeigen sich deutliche Entwicklungen im Bereich der Aufmerksamkeitsfokussierung (siehe Garon et al., 2008) und der Arbeitsgedächtnisleistung (Bernier et al., 2010; Diamond et al., 1997; Garon et al., 2008). Es scheint daher plausibel anzunehmen, dass die jüngeren Kinder mehr Trainingsdurchgänge brauchen, um zu lernen, welches Werkzeug effektiv ist.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist das vorhandene Wissen über die Relevanz der Werkzeuglänge, wenn es darum geht, entfernte Objekte in Reichweite zu bringen oder in eine gewünschte Richtung zu stoßen. Wie zuvor beschrieben, scheinen Erfahrung und kausale Informationen die funktionale Transferleistung und Objektverarbeitung zu beeinflussen (Brown, 1990; Gelman et al., 1980; Goswami & Brown, 1989; Singer-Freeman & Bauer, 2008; Singer-Freeman, 2005; Träuble & Pauen, 2011). Jüngere Kinder hatten in ihrer Entwicklung weniger Zeit als ältere, sich Wissen über die Bedeutung des Merkmals Länge für die Erreichbarkeit eines Ziels mit einem Werkzeug anzueignen, sei es durch Beobachtung oder durch eigene Explorationserfahrung.

Es wurde daher angenommen, dass sich eine deutliche Verbesserung der Trainingsleistung zwischen 18 und 24 Monaten zeigen sollte.

Erster Transferdurchgang

Auch hinsichtlich der Leistung in der Transferphase wurden deutliche Altersunterschiede erwartet. Die angesprochenen Entwicklungen der Exekutiven Funktionen (siehe Kapitel 3.2., S. 90), insbesondere der Inhibitionskomponente, sollten in der Transferphase eine wichtige Rolle spielen. Vor allem im ersten Transferdurchgang mussten saliente Werkzeugeigenschaften zugunsten weniger auffälliger aber relevanter Attribute ignoriert werden. Daher sollte es für jüngere Kindern schwieriger sein, ihre Aufmerksamkeit auf das funktional relevante Merkmal zu fokussieren und zu einer größeren Fehlerrate im ersten Transferdurchgang kommen.

Das bereits angesprochene Vorwissen über kausale Wirkungen und die damit verbundene leichtere Identifikation des funktionalen Werkzeugmerkmals könnte auch hier eine wichtige Rolle spielen und sich positiv auf die Leistung älterer Kinder auswirken.

Leistung im weiteren Verlauf der Transferphase

Die hohe Flexibilität der 24 Monate alten Kinder in der Transferphase wirft die Frage auf, ob es auch bereits jüngeren Kindern gelingt, begangene Fehlentscheidungen unmittelbar nach Erhalt einer Rückmeldung zu korrigieren. Die beschriebenen deutlichen Entwicklungen der flexiblen Verhaltenskontrolle und -modifikation in den ersten Lebensjahren lassen vermuten, dass sich jüngere Kinder langsamer an die neue Situation anpassen als 24 Monate alte Kinder und im zweiten Transferdurchgang möglicherweise noch nicht überzufällig häufig die richtige Wahl treffen.

5.1.4. Kodierung und Auswertung

Alle Erhebungen wurden von einer Videokamera aufgezeichnet und wie in Studie 1 von zwei Personen kodiert. Die Daten eines Kindes wurden auch in Studie 2 nur dann ausgewertet, wenn entweder alle Trainingsdurchgänge vollendet wurden oder das Kind das Trainingskriterium bereits früher erreicht hatte. Die Daten der Transferphase eines Kindes wurden nur dann ausgewertet, wenn das Kind das Trainingskriterium erreicht hatte.

Es wurde auch hier beurteilt, inwiefern die Wahl der Kinder in jedem Durchgang eindeutig erkennbar war und vom Versuchsleiter korrekt angenommen wurde. In 96% aller Fälle wurde die Reaktion des Versuchsleiters auf das Verhalten des Kindes als korrekt gewertet. Die Interrater-Übereinstimmung war mit $ICC = .96$ erneut sehr hoch.

5.2. Ergebnisse

5.2.1. Trainingsphase

Erster Trainingsdurchgang

Im ersten Trainingsdurchgang, in dem die Anordnung der Stäbe der Anordnung während der Demonstrationsphase entsprach, unterschied sich die Rate korrekter Stabwahlen hypothesenkonform nicht signifikant zwischen den vier Altersgruppen ($\chi^2(3) = 0.16$, $p = .98$; siehe Abbildung 16).

Der lange Stab wurde in allen Gruppen am häufigsten gewählt. In den jüngeren Altersgruppen unterschied sich diese Rate marginal signifikant von einer Wahl auf Zufallsniveau (18 Monate: 50%, $Z = -1.82$, $p = .07$, $\varphi = 0.43$; 20 Monate: 50%, $Z = -1.82$, $p = .07$, $\varphi = 0.43$). In

den älteren Altersgruppen wurde die korrekte Wahl überzufällig häufig getroffen (22 Monate: 48%, $Z = -2.08$, $p = .04$, $\varphi = 0.40$; 24 Monate: 53%, $Z = -2.71$, $p = .007$, $\varphi = 0.49$).

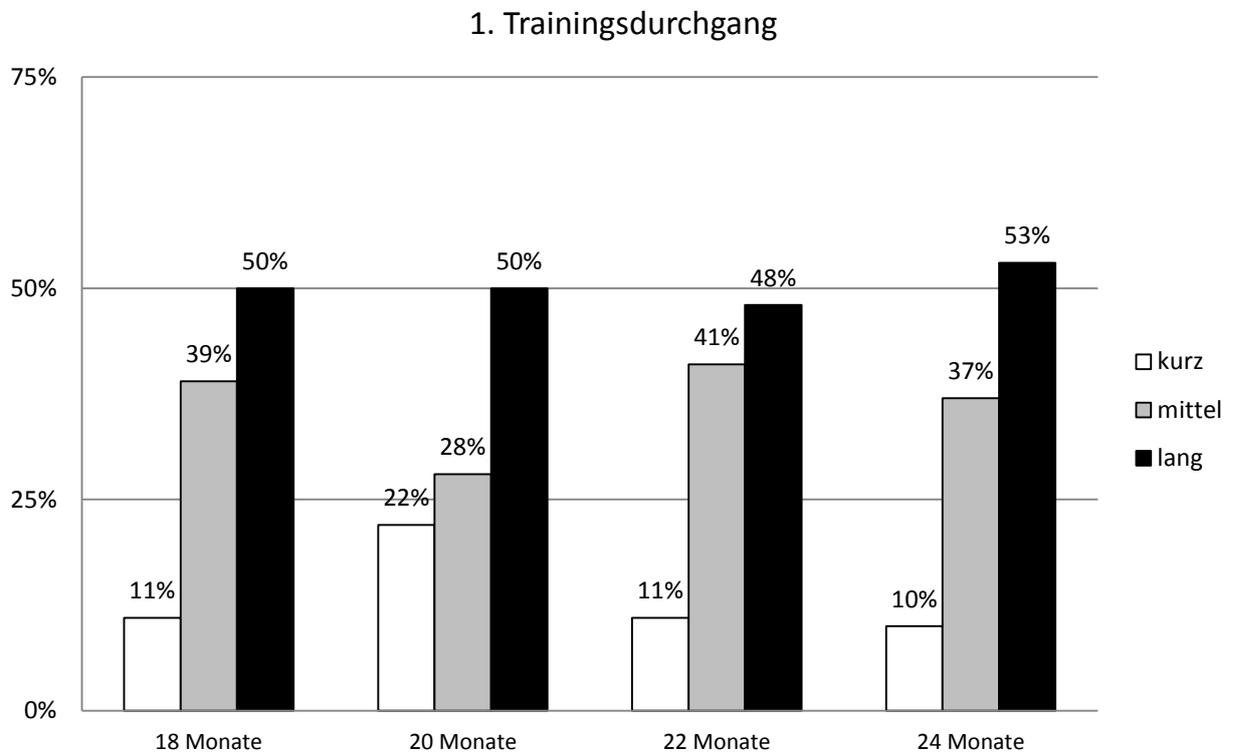


Abbildung 16. Wahlhäufigkeiten des funktionalen Stabes (in %) für alle Altersgruppen im ersten Trainingsdurchgang (direkt im Anschluss an die Demonstrationsphase)

Zweiter Trainingsdurchgang

Im zweiten Trainingsdurchgang, in dem die Anordnung der Stäbe nicht mehr identisch zur Anordnung in der Demonstrationsphase war, unterschieden sich die Altersgruppen deutlich voneinander ($\chi^2(3) = 22.12$, $p < .001$, $\omega = 0.49$). Sowohl die 18 als auch die 20 Monate alten Kinder wählten den langen Stab am seltensten und signifikant unterhalb des Zufallsniveaus aus (beide Altersgruppen: 6%, $Z = -3.27$, $p = .001$, $\varphi = 0.77$). Im Gegensatz dazu präferierten die älteren Altersgruppen weiterhin den langen Stab und wählten ihn überzufällig häufig aus (22 Monate: 48%, $Z = -2.08$, $p = .04$, $\varphi = 0.41$; 24 Monate: 57%, $Z = -3.01$, $p < .01$, $\varphi = 0.55$).

Abbildung 17 zeigt die Leistungsverläufe aller Altersgruppen in den ersten sieben Trainingsdurchgängen.

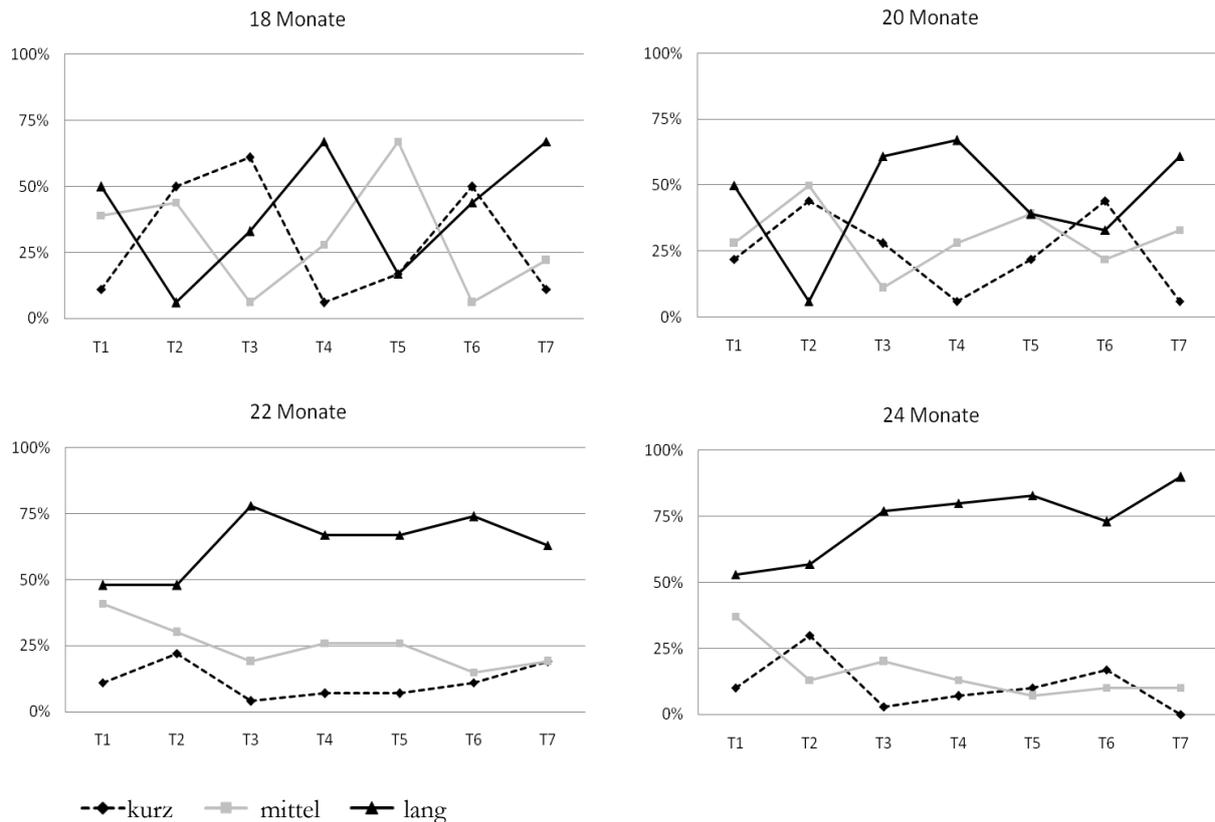


Abbildung 17. Verlaufskurve der Wahlhäufigkeiten (in %) aller Stäbe in jeder Altersgruppe in der Trainingsphase

Lernleistung in der Trainingsphase

Der Prozentsatz an Kindern, die das Lernkriterium erreichten, unterschied sich deutlich zwischen den Altersgruppen ($\chi^2(3) = 21.83$, $p < .001$, $\omega = 0.48$; siehe Abbildung 18) und erstreckte sich von nur 17% mit 18 Monaten bis 77% mit 24 Monaten. Post-hoc-Analysen ergaben, dass sich die Lernrate zwischen 18 und 20 (*Fisher's exact* = 0.64, $p = .69$), sowie zwischen 22 und 24 Monaten ($\chi^2(1) = 1.28$, $p = .26$) nicht signifikant voneinander unterschied. Ein deutlicher Anstieg ergab sich jedoch zwischen 20 und 22 Monaten ($\chi^2(1) = 5.35$, $p = .02$, $\omega = 0.35$).

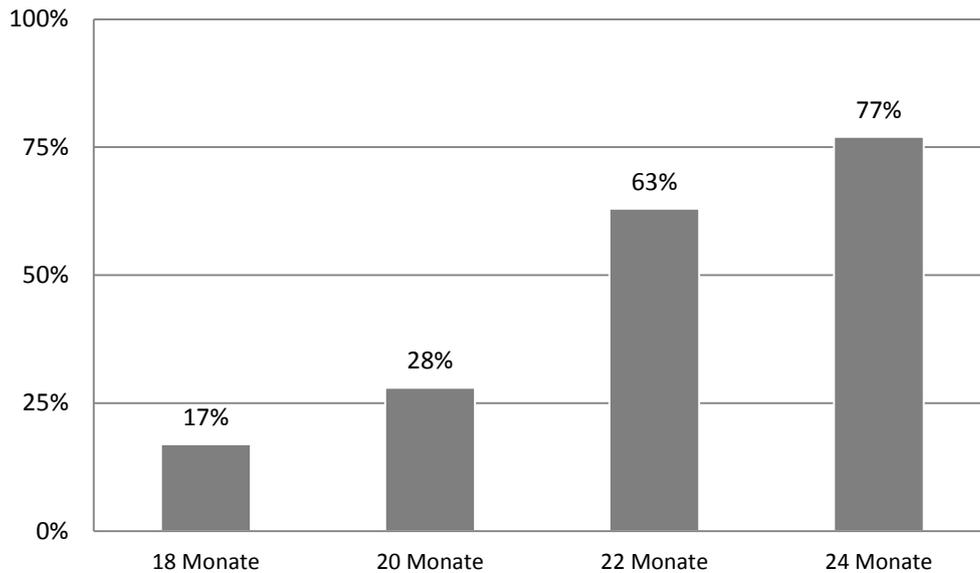


Abbildung 18. Häufigkeit des Erreichens des Lernkriteriums (in %; mindestens sieben richtige Wahlen in max. zwölf Durchgängen) für alle Altersgruppen in der Trainingsphase

Auch die Analyse der ersten sieben Trainingsdurchgänge bestätigte diesen Alterstrend: Mann-Whitney-Tests zwischen allen Altersgruppen zeigten, dass sich die Wahlhäufigkeit des langen Stabes nur zwischen der Gruppe 20 Monate alter (45%) und der Gruppe 22 Monate alter Kinder (63%) signifikant unterschied ($Z = -2.61$, $p = .009$, $\varphi = 0.39$). Zwischen 18 und 20 Monaten (40% vs. 45%; $Z = -0.07$, $p = 0.95$), sowie zwischen 22 und 24 Monaten (63% vs. 73%; $Z = -1.41$, $p = 0.16$) ergab sich kein signifikanter Unterschied.

Da sich wiederholt gezeigt hatte, dass sich die jüngeren und die älteren beiden Altersgruppen nicht signifikant voneinander unterschieden, wurden diese Gruppen für die folgenden Analysen zusammengefasst. Das Lernkriterium wurde häufiger von Kindern im Alter von 22 und 24 Monaten erreicht als von 18 und 20 Monate alten Kindern (70% vs. 23%; $\chi^2(1) = 20.32$, $p < .001$, $\omega = 0.47$). Dieser Leistungsunterschied zeigte sich auch, wenn die ersten sieben Durchgänge der Trainingsphase analysiert wurden ($Z = -4.88$, $p < .001$, $\varphi = 0.51$).

Eine Analyse der Lerngeschwindigkeit der als „Lerner“ klassifizierten Kinder beider Altersgruppen zeigte ebenfalls deutliche Unterschiede: Die 18 und 20 Monate alten Lerner ($n = 8$) benötigten mehrere Durchgänge, bis sie den korrekten Stab überzufällig häufig auswählten (5. Durchgang: $Z = -2.56$, $p < .05$, $\omega = 0.91$), wohingegen die 22 und 24 Monate alten Lerner ($n = 40$) ab dem ersten Durchgang konsistent den korrekten Stab auswählten (1. Durchgang: $Z = -4.27$, $p < .001$, $\omega = 0.68$; siehe Abbildung 19). Ein Vergleich der Lerner

beider Altersgruppen muss allerdings aufgrund der deutlich unterschiedlichen Stichprobenumfänge mit großer Vorsicht erfolgen. Dennoch lohnt sich der Blick auf den deskriptiven Leistungsverlauf während der Trainingsphase (siehe Abbildung 19).

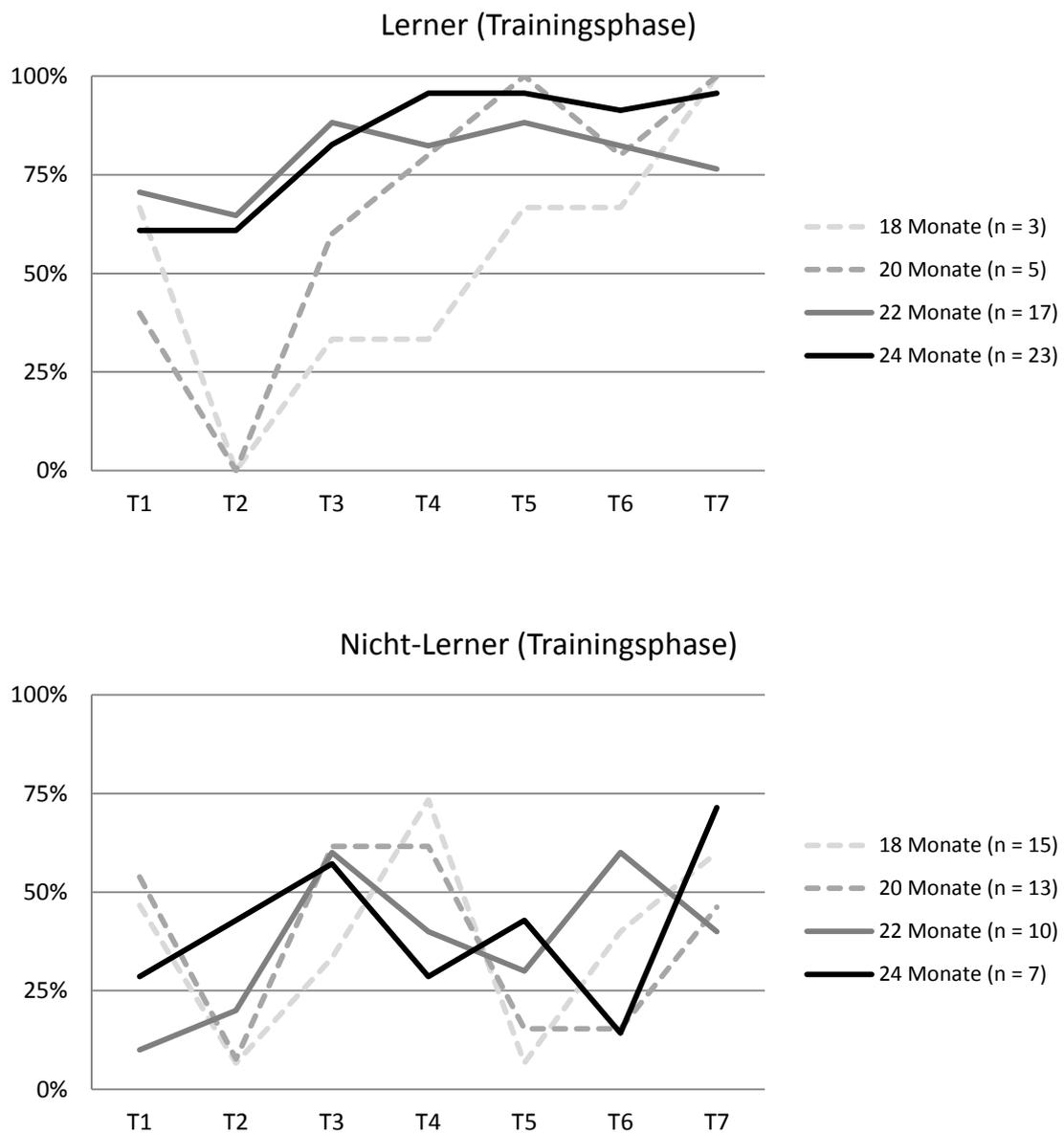


Abbildung 19. Verlaufskurve der Wahlhäufigkeiten des langen Stabes (in %) in der Trainingsphase für jede Altersgruppe, getrennt für Kinder, die das Trainingskriterium erreichten und als „Lerner“ klassifiziert wurden (oben) und für Kinder, die das Trainingskriterium nicht erreichten (unten)

Umgang mit Rückmeldung in der Trainingsphase

Um besser verstehen zu können, wieso sich die 18 bis 20 Monate alten Kinder hinsichtlich des Lernens der korrekten Lösung so deutlich von den 22 bis 24 Monate alten unterschieden, wurde ihre Reaktion auf positive wie negative Rückmeldung zur Stabwahl verglichen⁹. Hierbei wurde deutlich, dass die Altersgruppen unterschiedlich auf positive Rückmeldung reagierten, wohingegen sich ihre Reaktion auf negative Rückmeldung nicht signifikant unterschied:

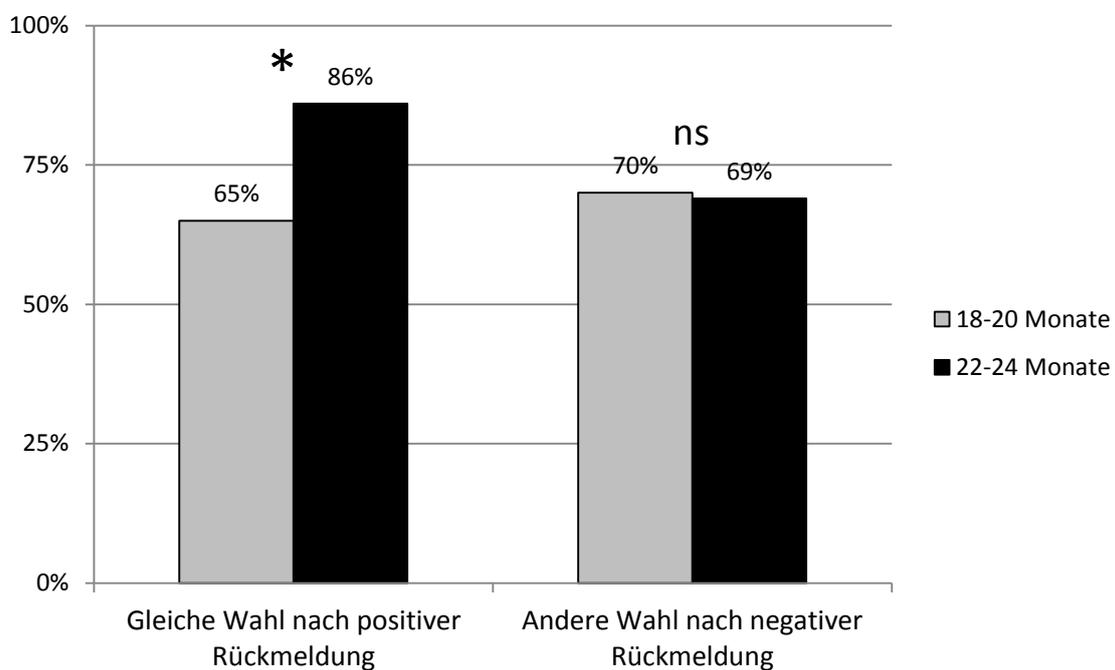


Abbildung 20. Reaktionen der 18 bis 20 und 22 bis 24 Monate alten Kinder auf positive oder negative Rückmeldung in der Trainingsphase (d.h. Anteil gleicher oder unterschiedlicher Stabwahlen in zwei aufeinander folgenden Durchgängen in %)

⁹ In allen Auswertungen zur Reaktion auf positive oder negative Rückmeldung wurde die Anzahl gleicher Wahlen nach positiver Rückmeldung, sowie die Anzahl unterschiedlicher Wahlen nach negativer Rückmeldung eines Kindes relativiert an der Gesamtanzahl gleicher bzw. unterschiedlicher Wahlen. Somit sollten mögliche Verzerrungen der Daten vermieden werden, die durch die individuell unterschiedliche Anzahl an Durchgängen und somit an positiver und negativer Rückmeldung zustande kommen könnten.

Nur 65% der 18 bis 20 Monate alten Kinder wählten nach positiver Rückmeldung denselben Stab im darauffolgenden Durchgang, wohingegen 86% der 22 bis 24 Monate alten Kinder nach positiver Rückmeldung bei ihrer Stabwahl blieben ($Z = -3.35$, $p = .001$, $\varphi = 0.37$; siehe Abbildung 20). Im Gegensatz dazu traten keine Altersunterschiede bei der Reaktion auf negative Rückmeldung auf. Beide Altersgruppen waren hier gleichermaßen in der Lage, im Folgedurchgang eine andere Wahl zu treffen und nicht bei der falschen Wahl zu bleiben ($Z = -1.00$, $p = .32$).

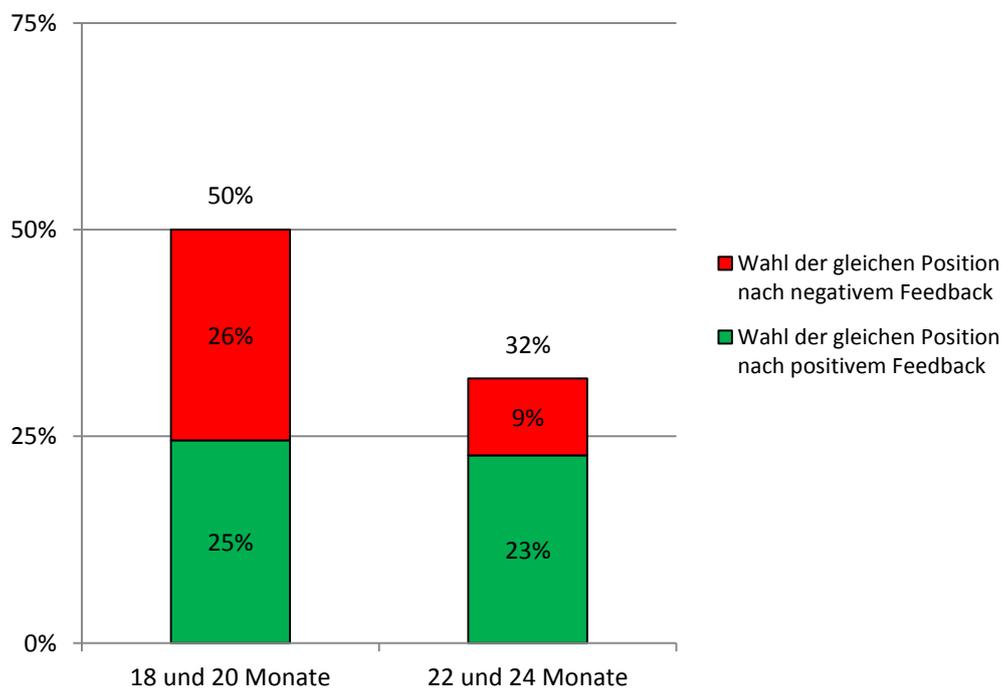


Abbildung 21. Wahlhäufigkeit der gleichen Position in der Auswahlkiste (in %) in zwei aufeinander folgenden Durchgängen in der Trainingsphase, unterteilt in positive und negative Rückmeldung im vorangegangenen Durchgang.

Zunächst mag es überraschen, dass die jüngere Altersgruppe nicht in gleicher Weise von positiver Rückmeldung profitierte wie die älteren Kinder. Zu beachten gilt hierbei jedoch, dass die Stabanordnung in jedem Durchgang der Trainingsphase verändert wurde. Die Stabposition schien für die 18 und 20 Monate alten Kinder bedeutsamer zu sein als für die 22 und 24 Monate alten Kinder: Sie wählten häufiger die gleiche Position in zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen als dies bei 22 bis 24 Monate alten Kindern der Fall war (50% vs. 32%; $Z = -4.51$,

$p < .001$, $\varphi = 0.47$; siehe Abbildung 21). Die Art der zuvor erhaltenen Rückmeldung schien dies nicht zu beeinflussen ($Z = -0.70$, $p = .49$). 22 bis 24 Monate alten Kinder zeigten hingegen vor allem dann erneut auf dieselbe Position, wenn sie zuvor positive Rückmeldung erhalten hatten (71% vs. 29%; $Z = -4.37$, $p < .001$, $\varphi = 0.49$, siehe Abbildung 21).

5.2.2. Transferphase

Nur sehr wenige der 18 und 20 Monate alten Kinder erreichten das Lernkriterium im Training (18 Monate: $n = 3$, 20 Monate: $n = 5$) und lediglich $n = 6$ dieser Kinder vollendeten mindestens sieben Transferdurchgänge ($n = 4$ wählten hierbei überzufällig häufig den korrekten Stab aus). Auf eine inferenzstatistische und vergleichende Analyse der Transferphase musste daher aufgrund der geringen Stichprobengröße verzichtet werden.

Die Transferstichprobe setzte sich somit aus $n = 17$ 22 Monate alten Kindern (10 Jungen, 7 Mädchen) und $n = 22$ 24 Monate alten Kindern (12 Jungen, 10 Mädchen) zusammen, die das Trainingskriterium erreicht hatten und mindestens sieben Transferdurchgänge absolviert hatten.

Der erste Transferdurchgang ist für die Untersuchung der Transferleistung am bedeutendsten, da die Kinder die neuen Werkzeuge zum ersten Mal sehen und sich somit die spontane Transferleistung zeigt.

Erster Transferdurchgang

Abbildung 22 zeigt die spontane Transferleistung der 22 und 24 Monate alten Kinder. Diese unterschied sich signifikant zwischen den Altersgruppen. Erwartungsgemäß traten im Alter von 24 Monaten häufiger korrekte Wahlen im ersten Transferdurchgang auf als mit 22 Monaten (45% vs. 18%; $\chi^2(1) = 3.34$, $p = .03$, $\omega = 0.29$, einseitig). In beiden Fällen unterschied sich diese Wahlhäufigkeit jedoch nicht vom Zufallsniveau (22 Monate: $Z = -1.45$, $p = .15$; 24 Monate: $Z = -1.62$, $p = .10$). Der kurze Stab hingegen, dessen Griffeigenschaften jenen des korrekten Stabes im Training entsprachen, wurde in beiden Altersgruppen überzufällig häufig gewählt (22 Monate: $Z = -3.33$, $p = .001$, $\varphi = 0.81$; 24 Monate: $Z = -2.39$, $p = .02$, $\varphi = 0.51$). Dieser Fehler trat marginal häufiger mit 22 Monaten als mit 24 Monaten auf (76% vs. 55%; $\chi^2(1) = 2.00$, $p = .08$, einseitig).

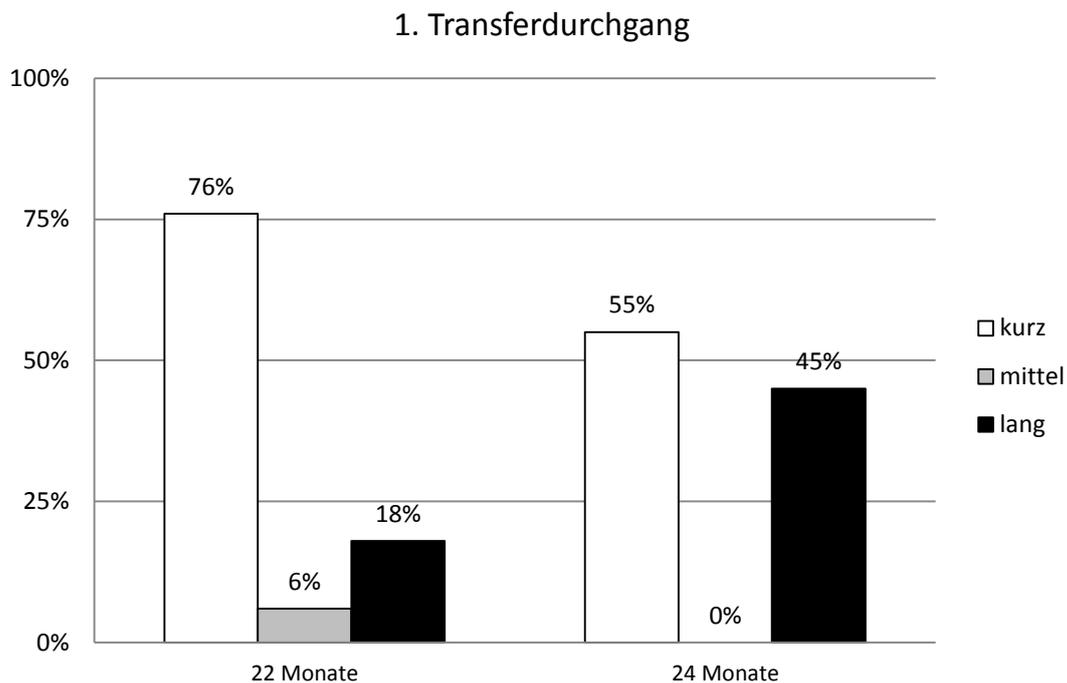


Abbildung 22. Wahlhäufigkeiten (in %) im 1. Transferdurchgang (22 vs. 24 Monate)

Leistung im weiteren Verlauf der Transferphase

Ab dem zweiten Transferdurchgang erhielten die Kinder stets Rückmeldung durch den Versuchsleiter. Um der Frage nachzugehen, ob bereits 22 Monate alte Kinder ihr Verhalten flexibel an die Rückmeldung anpassen und Fehler korrigierten, wie dies bei 24 Monate alten Kindern zu beobachten war, wurden die auf den ersten Transferdurchgang folgenden Wahlen analysiert.

Wie erwartet, schien das nicht der Fall zu sein. Im zweiten Transferdurchgang wählten die 22 Monate alten Kinder zufallsbasiert aus und zeigten keine Präferenz für ein bestimmtes Werkzeug ($\chi^2(2) = 2.24, p = .33$). Im Alter von 24 Monaten hingegen zeigte sich bereits nach einmaliger Rückmeldung eine deutliche Präferenz für den korrekten Stab im zweiten Durchgang ($\chi^2(2) = 10.18, p < .01, \omega = 0.68$). Darüber hinaus wurde er überzufällig häufig gewählt ($Z = -3.05, p < .01, \varphi = 0.65$).

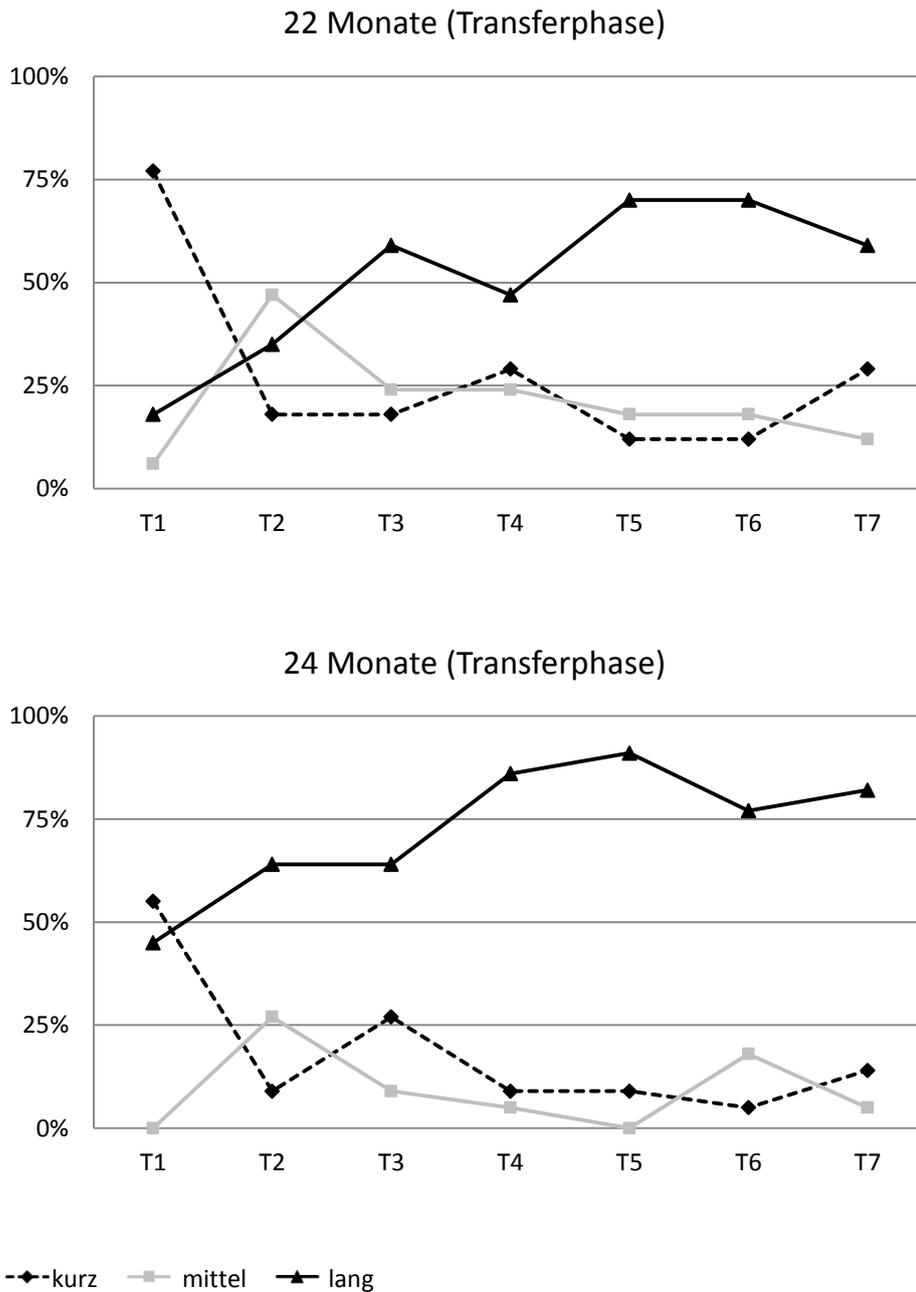


Abbildung 23. Verlaufskurve der Wahlhäufigkeiten aller Stäbe (in %) für beide Altersgruppen (22 und 24 Monate) in der Transferphase

Im dritten Transferdurchgang deutete sich eine Veränderung an. Die 22 Monate alten Kinder wählten den langen Stab numerisch am häufigsten (59%). Diese Rate lag jedoch nur marginal über dem Zufallsniveau ($\chi^2(2) = 5.06, p = .08$). Die Leistung der 24 Monate alten Kinder stabilisierte sich. Die Kinder zeigten auch im dritten Transferdurchgang eine deutliche Präferenz für das funktionale Werkzeug ($\chi^2(2) = 10.18, p < .01, \omega = 0.68$).

Abbildung 23 zeigt die Leistungsverläufe der beiden Altersgruppen während der Transferphase. Um festzustellen, ob beide Altersgruppen über die Transferphase hinweg in der Lage waren, die richtige Werkzeugwahl zu erlernen, wurden individuelle Trefferraten errechnet und mit einer Trefferrate auf Zufallsbasis (nach Binomialverteilung) verglichen. In Einklang mit den zuvor beschriebenen Leistungsunterschieden waren nur 47% der 22 Monate alten Kinder in der Lage, die korrekte Wahlstrategie zu erlernen, wohingegen dies 86% der 24 Monate alten Kinder gelang ($\chi^2(1) = 6.96, p = .004, \omega = 0.42$, einseitig).

5.3. Diskussion

5.3.1. Trainingsphase

Erster Trainingsdurchgang

Direkt im Anschluss an die Demonstration der Werkzeuge durch den Versuchsleiter wurde in allen Altersgruppen der korrekte Stab präferiert. Die Effektstärken waren in allen Gruppen vergleichbar. Die Tatsache, dass in den beiden jüngeren Altersgruppen der funktionale Stab nur marginal überzufällig häufig gewählt wurde, scheint daher dem geringeren Stichprobenumfang geschuldet zu sein.

Der Versuchsleiter hatte direkt vor dem Trainingsdurchgang das funktionale Werkzeug in der Apparatur demonstriert und den Stab im Anschluss daran wieder zurück in die Auswahlkiste gestellt, so dass die gleiche Stabanordnung beibehalten wurde wie in der Demonstrationsphase. Bereits mit 18 Monaten wählten die Kinder nach der Beobachtung einer Werkzeugdemonstration in einem sozialen Kontext das funktionale Werkzeug überzufällig häufig aus. Dies passt zu Befunden, die darauf hindeuten, dass bereits im ersten Lebensjahr Funktionsdemonstrationen die kindliche Reaktion auf Objekte beeinflussen (Träuble & Pauen, 2007, 2011). Im Laufe des zweiten Lebensjahres scheinen Kinder zunehmend von Objektdemonstrationen zu profitieren und diese auch für ihre eigenen intentionalen Handlungen nutzen zu können (Elsner & Pauen, 2007; Rat-Fischer et al., 2012).

Bei der vorliegenden Werkzeugdemonstration handelte es sich um eine recht komplexe Kette von Handlungen. Im Gegensatz zu Demonstrationen in vielen anderen Studien war hier der Objektgebrauch nicht direkt mit dem angestrebten Ziel verknüpft: Das Werkzeug wurde zunächst in der Apparatur genutzt, das Zielobjekt fiel dann –im Falle einer funktionalen Werkzeugwahl– aus der Apparatur, wurde vom Versuchsleiter aufgenommen, dem Kind überreicht und konnte anschließend in die Kiste geworfen werden, in der dann der belohnende

Ton erzeugt wurde. Solche komplexen und interaktiven Werkzeuggebrauchssituationen finden sich häufig im Alltag. Interessanterweise war jedoch auch die Leistung der 22 und 24 Monate alten Kinder im ersten Trainingsdurchgang weit von einem Deckeneffekt entfernt. Dies könnte auf Verständnisprobleme komplexer Mittel-Ziel-Handlungen zurückzuführen sein.

Wie in Kapitel 2.2.3. erläutert (siehe S. 20) scheint zumindest im Säuglingsalter das Betonen eines Ziels eine besondere Rolle für das Handlungsverständnis zu spielen (Gerson & Woodward, 2013). Auch mit 12 und 18 Monaten scheint dem Ziel einer beobachteten Handlung besondere Beachtung geschenkt zu werden (Nielsen, 2006). In der relativ langen Handlungskette gibt es allerdings zwei saliente Effekte, die als Ziel gesehen werden könnten: (1) Die Kugel fällt aus dem Rohr und (2) aus der Effektkiste ertönt ein Klingeln, wenn die Kugel hinein geworfen wird. Letzteres Ziel war vermutlich besonders bedeutsam für die Kinder, weil sie selbst die Kugel in die Effektkiste werfen durften. Möglicherweise wurde dadurch insbesondere die Handlung des Hineinwerfens als Mittel enkodiert und weniger das Einführen des funktionalen Stabes in die Apparatur, um an die Kugel zu kommen.

Gegen diese Interpretation sprechen jedoch Befunde, die zeigen, dass sich 24 Monate alte Kinder, insbesondere in sozialen Situationen stärker auf die exakten Handlungsschritte als auf das letzte Handlungsziel konzentrieren und diese anschließend imitieren (Nielsen, 2006). Die potentiell höhere Salienz des zweiten Ziels dürfte demnach nicht entscheidend sein. Offen ist jedoch bislang, ob dies ebenfalls auf 22 Monate alte Kinder zutrifft.

Der relevante erste Handlungsschritt, die Wahl eines Stabes, liegt allerdings auch zeitlich weiter zurück. Um die richtige Wahl zu treffen, muss man gedanklich an den Anfang der Handlungskette zurückkehren. Dies könnte den Abruf erschweren. Relevante Handlungsschritte müssen nicht nur erkannt und enkodiert werden, sie müssen auch im richtigen Moment abrufbar sein und fokussiert werden, während weniger wichtige Schritte, die möglicherweise noch besonders gut im Gedächtnis sind, unterdrückt werden müssen. Dies erfordert Arbeitsgedächtniskapazität, die sich in den ersten Lebensjahren maßgeblich entwickelt (siehe Kapitel 3.2.2., S. 96) und daher die Leistung im ersten Trainingsdurchgang begrenzen könnte, so dass noch deutlich Raum für Leistungsverbesserungen bleibt.

Lernleistung in der Trainingsphase

Auch wenn die Leistung im ersten Trainingsdurchgang nicht das höchstmögliche Niveau erreichte, so zeigt die Präferenz des funktionalen Werkzeugs im ersten Trainingsdurchgang dennoch, dass bereits ein Großteil der Kinder die Werkzeugwahl des Versuchsleiters in einer solch komplexen Situation imitieren können, um überzufällig häufig an den gewünschten Effekt

zu gelangen. Dass es sich zumindest im Falle der 18 und 20 Monate alten Kinder nicht um deren spontane Leistung handelte, sondern die Demonstration des Versuchsleiters das Verhalten der Kinder zu beeinflussen schien, legt eine Analyse der folgenden Trainingsdurchgänge nahe, in denen die Anordnung der Stäbe stets verändert wurde.

Hätten die Kinder die Demonstration nicht für ihre Wahl genutzt, sondern selbstständig überzufällig häufig den korrekten Stab ausgewählt, so hätte sich ihre Leistung im Verlauf der Trainingsphase noch steigern oder stabilisieren müssen. Dies war jedoch nicht der Fall. Die Leistung der 18 und 20 Monate alten Kinder fiel deutlich zurück. Im zweiten Trainingsdurchgang, in dem die Anordnung der Stäbe nicht mehr jener der Demonstration entsprach, wurde der funktionale Stab sogar am seltensten ausgewählt, seltener als auf Zufallsbasis. Die gute Leistung im ersten Trainingsdurchgang könnte also vielmehr auf eine blinde Imitation der demonstrierten Stabwahl zurückzuführen sein (siehe Want & Harris, 2002), bei der eine differenzierte Analyse der Werkzeugeigenschaften keine wesentliche Rolle spielte.

Die Kinder schienen durch die Demonstration kein elaboriertes Mittel-Ziel-Verständnis entwickelt zu haben, denn in diesem Fall wäre ihre Leistung nicht drastisch gesunken und mehr Kinder hätten das Lernkriterium in der Trainingsphase erreicht. Im Gegensatz dazu schienen auch funktional völlig irrelevante Kontextinformationen, wie beispielsweise die Position eines Werkzeugs im unmittelbar vorangegangenen Durchgang, ihre Wahl zu beeinflussen. Dies zeigte die Analyse der Wahlhäufigkeit identischer Positionen in zwei aufeinander folgenden Durchgängen.

Dass die meisten 18 und 20 Monate alten Kinder im Verlauf der Trainingsphase offenbar nicht einmal einen assoziativen Zusammenhang zwischen dem Aussehen der Stäbe und dem erzeugten Effekt herstellen konnten, scheint im Widerspruch zu Studien zur Wahrnehmung von Form-Funktions-Korrelationen zu stehen (z.B. Madole et al., 1993; siehe Kapitel 2.3.2., S. 38), die zeigen, dass dies 18 Monate alten Kindern möglich zu sein scheint. Ein grundlegender Unterschied liegt hierbei jedoch erneut in der komplexen Abfolge mehrerer Handlungsschritte, die das Erkennen des Zusammenhangs deutlich erschwert haben dürfte.

Ein deutlich anderes Bild ergab sich bei den 22 und 24 Monate alten Kindern: Im zweiten Trainingsdurchgang wurde der funktionale Stab weiterhin präferiert und überzufällig häufig ausgewählt. Die Leistung der Kinder steigerte sich über die weiteren Durchgänge hinweg noch und die Mehrheit der Kinder erreichte das Lernkriterium. An dieser Stelle kann leider nicht beantwortet werden, in welchem Ausmaß die Demonstration zu dieser guten Leistung beigetragen hat oder inwiefern es sich um eine spontan gute Leistung handelte. Zur Beantwortung dieser Frage wäre die Realisierung einer Bedingung notwendig, in der die spontane

Auswahl eines Werkzeuges ohne Demonstration realisiert werden müsste. Dies könnte ein interessanter Ansatzpunkt für weitere Studien sein, in denen zudem das Ausmaß der sozialen Einbettung variiert werden könnte (siehe Gesamtdiskussion und Ausblick, Kapitel 7.3., S. 177).

Die Altersunterschiede bezüglich der Lernleistung zwischen den 18 und 20 Monate alten und den 22 und 24 Monate alten Kindern wurden besonders deutlich beim Erreichen des Trainingskriteriums. Während nur wenige Kinder der jüngeren Altersgruppen das Kriterium erreichten und mindestens siebenmal den funktionalen Stab auswählten, war dies bei der Mehrheit der 22 und 24 Monate alten Kinder der Fall. Worin könnte dieser enorme Unterschied bei einer Altersdifferenz von nur zwei Monaten begründet sein? Die Kinder mussten die Werkzeuge nicht selbst nutzen, so dass Unterschiede in der motorischen Entwicklung keinen Einfluss haben sollten.

Umgang mit Rückmeldung in der Trainingsphase

Die oben beschriebene Analyse des Wahlverhaltens der Kinder nach Erhalt negativer oder positiver Rückmeldung deutet darauf hin, dass eine mögliche Erklärung in einer unterschiedlichen Nutzung positiver Rückmeldung liegen könnte. 22 und 24 Monate alte Kinder blieben nach Erhalt positiver Rückmeldung häufiger bei der gleichen Stabwahl als 18 und 20 Monate alte Kinder. Möglicherweise konnten die jüngeren Kinder weniger von positiver Rückmeldung profitieren, da sie die kritischen Merkmale des Werkzeuges nicht identifizieren konnten und somit nicht wussten, durch welchen Werkzeugaspekt die positive Rückmeldung zustande gekommen war.

Irrelevante Merkmale wie z.B. die Position des Stabes, den sie gewählt hatten, könnten somit möglicherweise mehr Beachtung gefunden haben. Diese Annahme wird dadurch gestützt, dass die 18 und 20 Monate alten Kinder tatsächlich häufiger die gleiche Position in zwei aufeinander folgenden Durchgängen wählten als die älteren Altersgruppen. Sie orientierten sich also offenbar noch stärker an diesem irrelevanten Merkmal. Interessanterweise war dies aber nicht nur bei positiver Rückmeldung der Fall, sondern auch bei negativem Feedback wurde die gleiche Position häufig erneut gewählt. Bei den 22 und 24 Monate alten Kindern wurde die gleiche Position hingegen vorwiegend dann wiederholt gewählt, wenn sie zuvor positive Rückmeldung erhalten hatten.

Dies könnte mit Unterschieden in der Inhibitionsfähigkeit zusammenhängen. Gerade in den ersten Lebensjahren zeigen sich hier bedeutsame Entwicklungen (siehe Kapitel 3.2.1., S. 91), die sich auf den Umgang mit Rückmeldung auswirken könnte. Möglicherweise fällt es jüngeren Kindern auch beim Wissen darüber, dass die Werkzeugposition in der Auswahlkiste keine

relevante Rolle spielt, schwer, eine einmal ausgeführte motorische Handlung zu unterdrücken. Sie stecken ihren Finger dann eventuell erneut durch das gleiche Loch in der Auswahlkiste. Dies könnte dann unabhängig davon geschehen, ob sie positive oder negative Rückmeldung erhalten hatten. Dass die älteren Kinder bevorzugt nur dann erneut die gleiche Position wählten, wenn diese positiv verstärkt wurde, könnte darauf zurückzuführen sein, dass bereits ausgeführt Handlungen, von denen klar ist, dass sie nicht zum Ziel führen (negative Rückmeldung), unterlassen werden können. Handlungen aber, die positiv verstärkt werden (d.h. die Wahl war korrekt, aber im nächsten Durchgang ist die gleiche Position falsch), manchmal erneut ausgeführt werden.

Allerdings könnte auch die unterschiedliche Dauer der Durchgänge mit positiver und negativer Rückmeldung zu den Altersunterschieden in der Reaktion auf positive Rückmeldung und den ausbleibenden Unterschieden bei der Reaktion auf negative Rückmeldung beigetragen haben. Nach Durchgängen, in denen der richtige Stab gefunden wurde, dauerte es deutlich länger bis zur nächsten Stabwahl und es passierte mehr im Vergleich zu Durchgängen mit negativer Rückmeldung, da zunächst die Kugel aus der Apparatur fiel, dem Kind überreicht und in die Effektkiste geworfen wurde. Anschließend musste sie wieder zurück in die Apparatur gelegt werden ehe der nächste Durchgang folgte. Der größere Abstand zwischen Rückmeldung und erneuter Stabwahl könnte auch dazu geführt haben, dass die Kinder bis zur nächsten Wahl eher die Rückmeldung vergessen hatten als in Durchgängen, in denen sie negative Rückmeldung erhalten hatten.

Die grafische Darstellung der Leistungsverläufe der Altersgruppen verdeutlichte darüber hinaus, dass es nicht nur markante Unterschiede hinsichtlich des Umgangs mit Rückmeldung und der Lernrate gab, sondern dass sich auch die Lerngeschwindigkeit der als „Lerner“ klassifizierten Kinder zwischen den Altersgruppen deutlich unterschied. Während die 22 bis 24 Monate alten Kinder bereits ab dem ersten Trainingsdurchgang überzufällig häufig den richtigen Stab auswählten und konsistent bei dieser Wahl blieben, gelang dies den Lernern der jüngeren Altersgruppen erst deutlich später.

Dies könnte darauf hindeuten, dass unterschiedliche Prozesse der Wissensaneignung zugrunde liegen. Im Falle der 18 und 20 Monate alten Kinder deuten die Leistungsverläufe der Kinder, die das Trainingskriterium erreichten, darauf hin, dass das Lernen dem Versuch-und-Irrtum-Prinzip folgte. Die 22 und 24 Monate alten Kinder waren hingegen unmittelbar nachdem die Demonstration der Werkzeuge gesehen hatten, in der Lage, relevante Merkmale zum Finden des korrekten Hilfsmittels in der Trainingsphase zu identifizieren und im weiteren Verlauf zu

nutzen. Die direkte Nutzung wahrgenommener Informationen und die schnelle Lernrate könnten daher als Indizien für Einsichtsprozesse (Reasoning) gewertet werden.

Somit könnte eine Kombination aus der Fähigkeit, kritische Werkzeugaspekte identifizieren und abrufen zu können, der Inhibitionsfähigkeit zuvor ausgeführter motorischer Handlungen, sowie der Fähigkeit, Handlungsergebnisse zu analysieren, zu den aufgetretenen Unterschieden der Lernleistung geführt haben.

5.3.2. Transferphase

Obwohl sich das Verhalten der 22 und 24 Monate alten Kinder in der Trainingsphase stark ähnelte und keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Lernrate festzustellen waren, zeigten sich hypothesenkonform Unterschiede zwischen den beiden Altersgruppen hinsichtlich ihrer Leistung in der Transferphase.

Erster Transferdurchgang

Im ersten Transferdurchgang wählten die Kinder der jüngeren Altersgruppe überzufällig häufig den kurzen Stab. Dieser wurde ebenfalls deutlich häufiger als die beiden anderen Werkzeuge ausgewählt. Das Wahlmuster war somit vergleichbar mit der No-Causal-Info/High-Conflict-Bedingung (24 Monate alte Kinder) aus Studie 1. Interessanterweise war es den 22 Monate alten Kindern jedoch im Gegensatz zu Kindern im Alter von 24 Monaten nicht möglich, direkt nach Erhalt negativer Rückmeldung im zweiten Transferdurchgang den korrekten Stab zu präferieren und ihr Wahlverhalten anzupassen. Sie waren darüber hinaus seltener in der Lage, über die gesamte Transferphase hinweg überzufällig häufig den korrekten Stab zu wählen. Es zeigten sich also im Abstand von nur zwei Monaten deutliche Leistungsunterschiede beim Transfer von Werkzeugwissen.

Wie bereits erläutert, erscheint es plausibel, dass die besondere Schwierigkeit des ersten Transferdurchgangs unter anderem in den Anforderungen an die Exekutiven Funktionen liegt. Eine Limitierung der exekutiven Kontrolle könnte dazu führen, dass sich die Kinder stärker an perzeptuell salienten Merkmalen orientieren. Sind die Kontrollprobleme groß genug, könnte es selbst dann zu einer schlechten Transferleistung und einer Fokussierung auf irrelevante Merkmale kommen, wenn kausale Informationen über den Aufgabenmechanismus vorhanden sind und somit eigentlich die funktionalen Eigenschaften eines Objektes hervorgehoben werden müssten.

Leistung im weiteren Verlauf der Transferphase

Während 24 Monate alte Kinder ihr Verhalten schnell anpassen konnten und ab dem zweiten Transferdurchgang nach dem funktionalen Werkzeugmerkmal auswählten, zeigten die 22 Monate alten Kinder im zweiten Transferdurchgang keinerlei Stabpräferenz und präferierten erst im dritten Durchgang den korrekten Stab.

Dies deutet darauf hin, dass 24, nicht aber 22 Monate alte Kinder das funktionale Merkmal enkodiert hatten und nach einer negativen Rückmeldung auf diese Information zurückgreifen konnten. Bei 22 Monate alten Kindern scheint dies nicht der Fall gewesen zu sein. Hätten auch sie die funktionalen Informationen enkodiert, so wäre ab dem zweiten Transferdurchgang der korrekte Stab präferiert oder zumindest der nicht-funktionale Stab, der keinerlei Merkmale mit dem korrekten Stab der Trainingsphase teilte (d.h. den mittellangen Stab mit weißem Griff), ignoriert worden. Dies war jedoch nicht der Fall.

5.3.3. Fazit

Allen untersuchten Altersgruppen, war es möglich, nach einer Demonstration das richtige Werkzeug auszuwählen, auch wenn nicht alle das Lernkriterium erreichten.

In der Fähigkeit, kritische Werkzeugmerkmale zu enkodieren und die eigenen Reaktionen flexibel anzupassen, zeigten sich allerdings deutliche Altersunterschiede. Der Mehrheit der 18 und 20 Monate alten Kinder schien in der Trainingsphase deutlich stärker auf irrelevante Kontextmerkmale, wie beispielsweise die Position eines Werkzeuges, zu achten als die Mehrheit der älteren Kinder – und zwar unabhängig davon, ob diese Position verstärkt wurde oder nicht. Dies könnte mit der Verarbeitung komplexer Handlungssequenzen zusammenhängen.

22 und 24 Monate alte Kinder enkodierten offenbar sowohl funktional relevante als auch perzeptuell saliente Objektmerkmale und orientierten sich nur dann an der Position des Werkzeuges, wenn diese im vorangegangenen Durchgang positiv verstärkt wurde.

In der Transferphase schien der Aufmerksamkeitsfokus der 22 Monate alten Kinder auf dem perzeptuellen Werkzeugmerkmal zu liegen, wodurch die Mehrheit der Kinder einen Fehler beging und das kürzeste Werkzeug auswählte. In der Gruppe der 24 Monate alten Kinder trat dieser Fehler bei etwa der Hälfte der Kinder auf. Die Kinder konnten ihren Fehler jedoch sehr schnell korrigieren und präferierten ab dem zweiten Transferdurchgang das richtige Werkzeug. Sie zeigten damit eine deutlich schnellere Anpassungsfähigkeit und Flexibilität als die 22 Monate alten Kinder.

Um die entdeckten Unterschiede der Transfer- und Anpassungsfähigkeit im Kleinkindalter besser verstehen zu können, gilt es zu klären, ob die gefundenen Altersunterschiede tatsächlich – wie angenommen – mit Entwicklungen im Bereich der Exekutiven Funktionen zusammenhängen. Dieser Frage geht Studie 3 nach.

6. Welche Rolle spielen die Exekutiven Funktionen beim Wissenstransfer und flexiblen Umgang mit Rückmeldung? (Studie 3)

Um Rückmeldungen nutzen und Verhalten an neue Situationen anpassen zu können, müssen relevante, funktionale Informationen aktualisiert werden, wohingegen alte, ungeeignete Informationen, gleichzeitig zu inhibieren sind. Hierbei könnten die Arbeitsgedächtniskapazität und Inhibitionsfähigkeit sowie die Fähigkeit, flexibel den Aufmerksamkeitsfokus zu wechseln, eine wichtige Rolle spielen.

Nach einer Phase, in der eine bestimmte Strategie stets erfolgreich war, muss diese nun verändert werden, um auch in einer neuen Situation weiterhin erfolgreich sein zu können. Da Exekutiven Funktionen insbesondere in neuen, unbekanntenen Situationen eine wichtige Rolle zugesprochen wird, sollten sich insbesondere Zusammenhänge mit den ersten Durchgängen der Transferphase zeigen.

In Studie 3 sollen diese potentiellen Zusammenhänge untersucht werden. Hierfür gilt es Aufgaben zu entwickeln, die auch bereits vor dem 24. Lebensmonat nutzbar sind. Gerade im Bereich des Set-Shifting gibt es bislang keine adäquate Erfassungsmöglichkeit unter drei Jahren (siehe Kapitel 3.2.3., S. 99). Ein weiteres Ziel von Studie 3 ist es daher auch, eine solche Aufgabe für 22 Monate alte Kinder zu entwickeln und für zukünftige Forschungsarbeiten zu Exekutiven Funktionen im Kleinkindalter nutzbar zu machen.

6.1. Methode

6.1.1. Stichprobe

Insgesamt wurden $N = 46$ 22 Monate alte Kinder (25 Jungen, 21 Mädchen) für die Studie rekrutiert. Bei allen Teilnehmern handelte es sich um gesunde, reif geborene Kinder kaukasischer Abstammung aus dem Großraum Heidelberg. Wie in den zuvor beschriebenen Stichproben hatten auch sie bereits an Studien der Abteilung für Entwicklungspsychologie in Heidelberg teilgenommen. Die finale Stichprobe der Toolbox-Aufgabe bestand aus $N = 31$ Kindern (17 Jungen, 14 Mädchen; $M = 22$ Monate 14 Tage, *Spannweite* = 22 Monate 0 Tage – 22 Monate 30 Tage). Die Daten von $n = 15$ Kindern konnten aufgrund von Unruhe seitens des Kindes ($n = 10$; 4 Jungen, 6 Mädchen), Versuchsleiterfehlern ($n = 2$; 2 Jungen), Eingreifen der Eltern ($n = 2$; 1 Junge, 1 Mädchen) oder technischen Problemen ($n = 1$; 1 Junge) nicht analysiert werden.

Die Arbeitsgedächtnisaufgabe beendeten $N = 32$ Kinder (17 Jungen, 14 Mädchen) vollständig, die Inhibitionsaufgabe konnte von $N = 30$ (16 Jungen, 14 Mädchen), die Set-Shifting-Aufgabe von $N = 28$ Kindern (14 Jungen, 14 Mädchen) ausgewertet werden.

Sowohl die Arbeitsgedächtnis- als auch die Transferleistung in der Toolbox-Aufgabe konnte von $n = 20$ Kindern (10 Jungen, 10 Mädchen) analysiert werden. Bei der Inhibitions- und Toolbox-Aufgabe traf dies auf $n = 19$ (10 Jungen, 9 Mädchen), bei der Set-Shifting- und Toolbox-Aufgabe auf $n = 13$ (5 Jungen, 8 Mädchen) Kinder zu.

6.1.2. Versuchsmaterial und Aufgabenablauf

Wissenstransfer (Toolbox)

Zur Erfassung der Lösungstransferfähigkeit der Kinder wurde die gleiche Toolbox-Aufgabe genutzt wie in den Vorgängerstudien. Es wurde wie in Studie 2 nur die Causal-Info/High-Conflict-Bedingung realisiert, da es hier bereits zu Schwierigkeiten beim ersten und zweiten Transferdurchgang gekommen war, die nun genauer untersucht werden sollten.

Arbeitsgedächtnis (Spielzeugsuche)

Um das Arbeitsgedächtnis der Kinder zu erfassen, wurde in Anlehnung an die 'Hide the pots'-Aufgabe für Kinder ab 24 Monaten von Bernier et al. (2010) eine Spielzeugsuchaufgabe entwickelt. Bei dieser Aufgabe wurde in mehreren Durchgängen, gut sichtbar für das Kind, ein kleines Aufziehspielzeug in einer von mehreren undurchsichtigen Kisten versteckt (siehe Abbildung 24). Nach einer kurzen Wartezeit, in der die Kisten mit einem Tuch verdeckt wurden, sollte das Kind dem Versuchsleiter zeigen, wo das Spielzeug zu finden war („Wo hat sich ... versteckt?“).

Um sicherzustellen, dass das Kind die Aufgabe verstanden hatte, wurde zuerst eine *Aufwärmphase* ohne Wartezeit durchgeführt. Der Versuchsleiter versteckte ein Spielzeug in einer von drei Kisten auf dem Tisch vor dem Kind. Das Kind durfte anschließend direkt nach dem Spielzeug suchen, ohne dass die Kisten mit einem Tuch verdeckt wurden. Dieser Vorgang wurde anschließend mit den beiden anderen Kisten wiederholt, so dass das Spielzeug während der Aufwärmphase in jeder der drei Kisten einmal zu finden war.

Die darauffolgende *Testphase* bestand aus vier Teilen mit zunehmender Schwierigkeit. Die Schwierigkeit solcher Suchaufgaben wird in aller Regel dadurch erhöht, dass entweder mehr Kisten als Verstecke genutzt werden oder die Wartezeit zwischen Verstecken und Suchen erhöht

wird (Garon et al., 2008; siehe auch Kapitel 3.2.2., S. 95). In der hier beschriebenen Aufgabe wurden beide Aspekte variiert: In den ersten beiden Teilen der Testphase gab es drei Kisten, in denen das Spielzeug versteckt werden konnte, während im dritten und vierten Teil sechs Kisten als mögliche Verstecke genutzt wurden. Zudem erhöhte sich die Wartezeit. In Teil 1 und 3 der Testphase wurden die Kisten für fünf Sekunden mit einem Tuch abgedeckt, in Teil 2 und 4 für acht Sekunden. In jedem Teil der Testphase wurde ein anderes Aufziehspielzeug versteckt, da sich während der Pilotierung der Aufgabe gezeigt hatte, dass die Motivation und Aufmerksamkeit so aufrechterhalten und die gesamte Aufgabe vollständig beendet werden konnte.

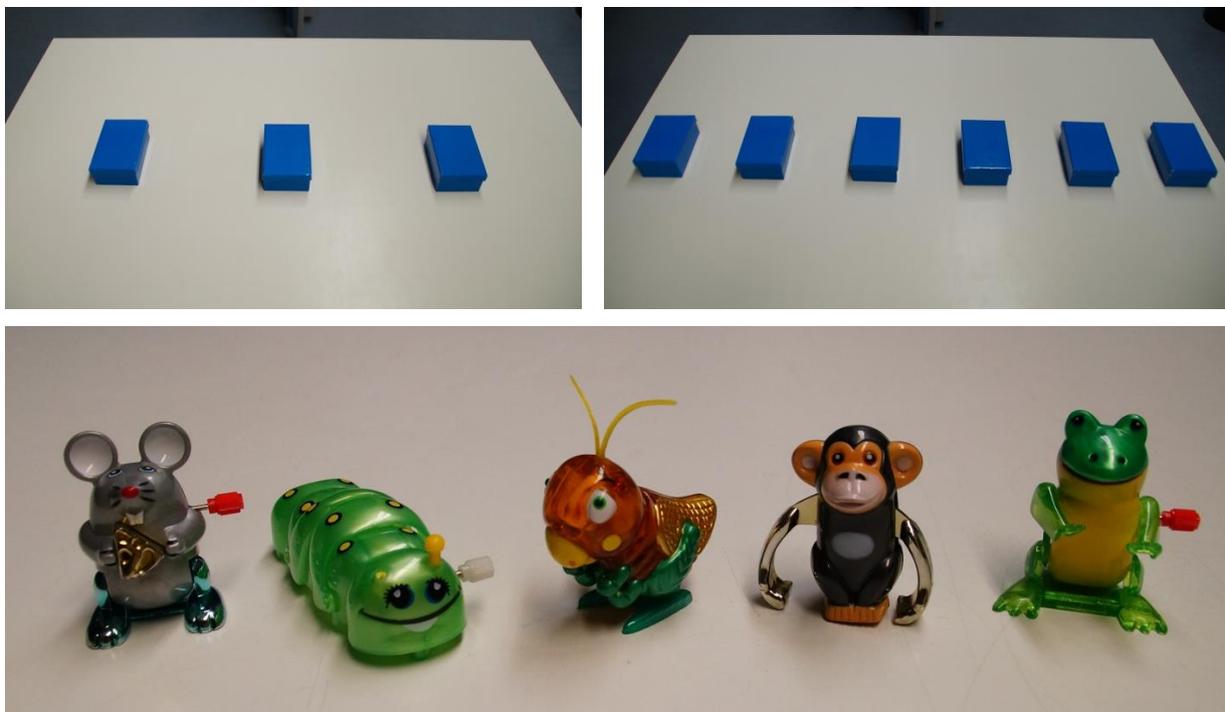


Abbildung 24. Materialien der Arbeitsgedächtnisaufgabe „Spielzeugsuche“. Ein Spielzeug wurde in einer von mehreren Kisten (Aufwärmphase und Testphasen 1-2 (links oben): drei Kisten, Testphasen 3-4 (rechts oben): sechs Kisten) versteckt und nach kurzer Wartezeit (Testphase 1 und 3: fünf Sekunden, Testphase 2 und 4: acht Sekunden) vom Kind gesucht. Verwendete Spielzeuge (unten): In der Aufwärmphase diente eine Maus als Zielobjekt, in den Testphasen wurde jeweils eine Raupe, eine Grille, ein Affe und ein Frosch versteckt (in semi-randomisierter zuvor festgelegter Reihenfolge, variierend zwischen den Versuchspersonen).

Sobald das Kind auf eine Kiste gezeigt hatte und diese durch den Versuchsleiter geöffnet wurde, zählte dies als Wahl. Ein Durchgang wurde demnach als erfolgreich gewertet, wenn die erste Wahl des Kindes richtig war. Hatte das Kind eine falsche Kiste ausgewählt, durfte es mehrfach weitersuchen, damit es selbst das Spielzeug entdeckte. Sobald das Spielzeug gefunden war, durfte das Kind es kurz in der Hand halten. Es wurde jedoch stets vermieden, das Spielzeug aufzuziehen. Nach wenigen Sekunden musste das Spielzeug wieder an den Versuchsleiter abgegeben werden, damit dieser es erneut verstecken konnte.

Inhibition (Verbotener Keks)

Zur Erfassung der Fähigkeit, einen dominanten Impuls zugunsten eines subdominanten zu unterdrücken, wurde die „Verbotene Keks“-Aufgabe entwickelt (inspiriert durch die „Snack-Delay-Aufgabe“, Kochanska et al., 2000; Voigt et al., 2012 und die „Forbidden-Toy-Aufgabe“, siehe Carlson, 2005; Lewis et al., 1989).



Abbildung 25. Aufbau der Inhibitionsaufgabe „Verbotener Keks“

Der Versuchsleiter platzierte eine mit zehn Keksstückchen gefüllte Plastikschaale auf dem Tisch vor dem Kind (siehe Abbildung 25). Die Schale war zunächst mit einem Tuch verhüllt, so dass das Kind sie noch nicht sehen konnte. Das Kind wurde angewiesen, die Hände unter den Tisch zu geben, sobald die Schale auf dem Tisch stand. Der Versuchsleiter sagte zu dem Kind: „Hier ist etwas für dich drunter. Du darfst es gleich haben, aber warte bitte, bis ich

wiederkomme! Warte, bis ich wiederkomme!“. Das Tuch wurde anschließend entfernt, so dass die Schale mit Keksstückchen gut sichtbar vor dem Kind stand. Der Versuchsleiter betätigte zeitgleich eine Stoppuhr und verließ für zwei Minuten den Raum.

Da es nicht möglich war, die Kinder in diesem Alter alleine im Versuchsraum zu lassen, saßen sie weiterhin auf dem Schoß ihres Elternteils. Den Eltern wurde zuvor ein Buch gegeben und sie wurden instruiert, zu lesen und so zu tun als seien sie abgelenkt. Sie sollten auf Interaktionsversuche oder Nachfragen des Kindes nicht reagieren.

Set-Shifting (Sortierspiel Form & Farbe)

Eine Aufgabe zu finden, mit Hilfe derer die Set-Shifting-Fähigkeit 22 Monate alter Kinder erfasst werden kann, stellte eine Herausforderung dar. In einer langen Pilotphase (Juni 2011 bis November 2012) wurde die Dimensional-Change-Card-Sort-Aufgabe (DCCS, Zelazo, 2006) vereinfacht und an das Alter der Kinder angepasst.

Bei der DCCS-Aufgabe sollen, wie in Kapitel 3.2.3. beschrieben (siehe S. 99), Karten sortiert werden, auf denen ein Objekt abgebildet ist, das potentiell nach zwei Dimensionen sortiert werden kann (Form oder Farbe). Die Standardversion der DCCS-Aufgabe setzt sich aus drei Phasen zusammen: einer Demonstrationsphase, einer Preswitch-Phase und einer Postswitch-Phase. Eine Phase besteht in aller Regel aus sechs Durchgängen. Die Sortierleistung in der Postswitch-Phase wird nur dann analysiert, wenn fünf aus sechs Klassifikationen während der Preswitch-Phase korrekt waren und somit überzufällig häufig nach dem geforderten Kriterium sortiert wurde.

Die hier genutzte Modifikation dieser Aufgabe unterscheidet sich in mehreren Aspekten von der Standardversion der DCCS-Aufgabe: Der Versuchsleiter platzierte ein Holzgestell vor dem Kind auf den Tisch, auf dem zwei unterschiedlich geformte und gefärbte Kisten angebracht waren (siehe Abbildung 26, links). Die linke Kiste war gelb und hatte einen quadratischen Grundriss, die rechte war grün und hatte einen runden Grundriss. Bei den zu sortierenden Objekten handelte es sich nicht um Karten mit Abbildungen, sondern es wurden Formen aus Holz benutzt, die ebenfalls gelb oder grün gefärbt und entweder quadratisch oder kreisförmig waren.

Da sich in der Pilotphase gezeigt hatte, dass es den 22 Monate alten Kindern schwer fiel, farbige Stimuli nach deren Form zu sortieren, das Sortieren nach Farbe jedoch unproblematisch war, wurde zu Beginn der Aufgabe ein *Formen-Sortiertraining* durchgeführt.

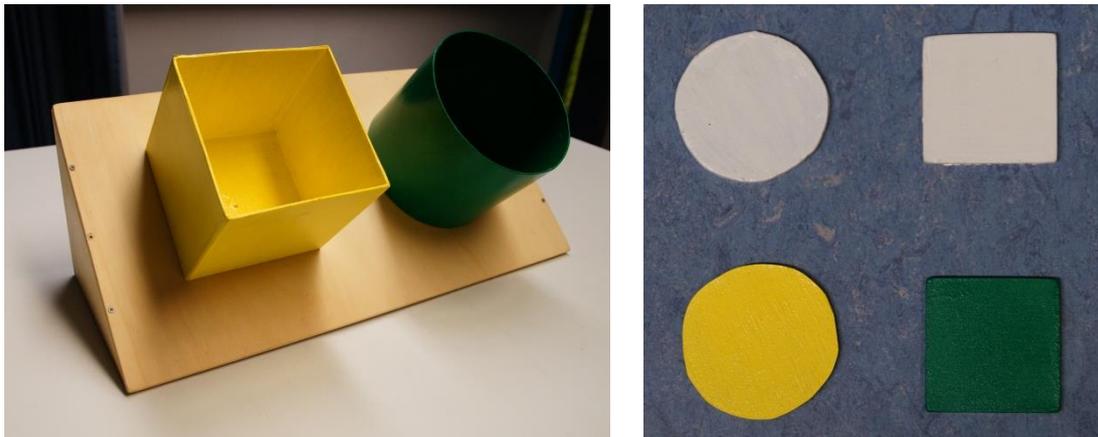


Abbildung 26. Materialien der Set-Shifting-Aufgabe „Sortierspiel Form & Farbe“. Auf einem schrägen Holzgestell waren zwei Kisten angebracht, in die Stimuli sortiert werden sollten (siehe Bild links). Für das Formen-Sortiertraining wurden weiße Formen genutzt (siehe Bild rechts oben), für die beiden Postswitch-Phasen farbige Stimuli (siehe Bild rechts unten).

Zunächst wurden weiße Formen (siehe Abbildung 26, rechts oben) nach deren Form sortiert. Der Versuchsleiter erklärte dem Kind die Regeln des Spiels und demonstrierte das Sortieren in zwei Durchgängen, so dass jede Form einmal in das passende Behältnis gelegt wurde („Schau mal, wir spielen jetzt ein Spiel. Das da gehört da rein. Genau, da gehört es rein. Und das da gehört da rein. Genau, da gehört es rein.“). Anschließend wurde dem Kind eine der beiden Formen gegeben. Es sollte nun selbst zuordnen („Jetzt bist du dran. Wo gehört das hin?“). Das Training bestand aus sechs Durchgängen. Es wurden lediglich die Daten der Kinder ausgewertet, die in diesem Training zeigten, dass sie überzufällig häufig Stimuli nach deren Form sortieren konnten (d.h. fünf Durchgänge aus sechs mussten richtig sein).

Auf das Formen-Sortiertraining folgte die erste Phase mit Objekten, die nach zwei Dimensionen sortiert werden konnten: Form und Farbe (siehe Abbildung 26, rechts unten). Die neuen Objekte sollten nun nicht mehr nach Form, sondern nach Farbe sortiert werden. Da es also zu einem ersten Regelwechsel kam, wurde diese Phase *Postswitch-Phase A* genannt. Der Regelwechsel wurde durch den Versuchsleiter erneut demonstriert, indem zwei farbige Objekte nach deren Farbe in die Kisten sortiert wurden (analog zum Sortieren der Formstimuli in der vorangegangenen Phase). Es folgten erneut sechs Durchgänge, in denen das Kind die Stimuli sortieren sollte.

Im Anschluss daran wurde ein weiterer Regelwechsel durchgeführt (*Postswitch-Phase B*). Die farbigen Stimuli sollten nun wieder nach Form sortiert werden. Es bestand also nicht nur ein Konflikt zwischen dem aufgebauten „Mental set“, der gewohnten Regel, und der neuen Sortierregel. Auch der Aufmerksamkeitsfokus innerhalb des Objektes musste auf eine andere Eigenschaft gerichtet werden (Form), wobei die zuvor beachtete Eigenschaft (Farbe) ignoriert werden sollte. Auch dies wurde wieder zunächst zweimal durch den Versuchsleiter demonstriert (mit jeder Form einmal). Anschließend sortierte das Kind die Objekte in sechs Durchgängen.

In jedem Durchgang erhielt das Kind Rückmeldung über die Korrektheit seiner Entscheidung. Das sortierte Objekt wurde vor Beginn des nächsten Durchgangs wieder aus der Kiste genommen, so dass zu keiner Zeit zuvor sortierte Objekte in den Kisten lagen.

6.1.3. Versuchsablauf

Nach einer kurzen Aufwärmphase im Spielzimmer wurden Eltern und Kind in den Testraum geführt. Während der gesamten Testung saß das Kind auf dem Schoß des Elternteils. Der Versuchsleiter instruierte das Elternteil, nicht mit dem Kind zu interagieren. Es wurde deutlich gemacht, dass es sehr wichtig sei, keinerlei Lösungshinweise zu geben oder Objekte zu benennen. Folgten die Eltern den Anweisungen nicht, wurden die Daten des Kindes aus der Analyse ausgeschlossen.

In allen Fällen wurde zunächst die Toolbox-Aufgabe zur Evaluation des Wissenstransfers durchgeführt. Im Anschluss daran gab es eine kurze Umbaupause. Während dieser Pause wurden die Eltern in das Spielzimmer geführt, so dass sie und das Kind den Umbau nicht sehen konnten. Während das Kind für 10 bis 15 Minuten frei spielen durfte, füllten die Eltern einen Fragebogen zum Erziehungsverhalten und ihren Einstellungen und Erziehungszielen zur kindlichen Impulskontrolle aus (IMMA, Pauen, Bechtel, & Schulz, in preparation). Die erfassten Daten werden in der vorliegenden Arbeit jedoch nicht diskutiert. Nach der Pause wurden die Aufgaben zur Erfassung der Exekutiven Funktionen in fester Reihenfolge durchgeführt: 1. Set-Shifting-Aufgabe, 2. Arbeitsgedächtnisaufgabe, 3. Inhibitionsaufgabe. Der gesamte Ablauf umfasste ungefähr 45 bis 60 Minuten.

6.1.4. Spezifische Hypothesen

Wissenstransfer

Ausgehend von den Ergebnissen aus Studie 2 wurde angenommen, dass 60-70% der 22 Monate alten Kinder das Lernkriterium in der Trainingsphase erreichen würden. Im Hinblick auf die Transferleistung wurde erwartet, dass auch hier die Ergebnisse repliziert werden sollten. Konkret wurde erwartet, dass der kurze Stab mit dem Griff, der zuvor am korrekten Trainingsstab montiert und somit mit Erfolg assoziiert war, häufiger gewählt würde als der lange, funktional korrekte Stab.

Auch wurde erwartet, dass die Kinder im zweiten Durchgang zufällig auswählen würden und sich keine Stabpräferenz zeigen sollte. Erst wenn potentiell alle Stäbe ausprobiert werden konnten (frühestens ab dem dritten Durchgang) sollten die Kinder in der Lage sein, das richtige Werkzeug überzufällig häufig auszuwählen und ihre Leistung sollte sich im weiteren Verlauf stabilisieren.

Zusammenhänge zwischen Arbeitsgedächtnis und Wissenstransfer

Eine hohe Arbeitsgedächtniskapazität sollte den Kindern helfen, Rückmeldungen zu ihrer Stabwahl besser zu nutzen und ihr Verhalten somit besser anpassen zu können. Es sollte sich daher ein negativer Zusammenhang zwischen dem Erfolg in der Arbeitsgedächtnisaufgabe und der Wahlhäufigkeit des kurzen Stabes im zweiten Transferdurchgang ergeben. Denn ein gutes Arbeitsgedächtnis sollte dazu beitragen, dass die negative Rückmeldung im ersten Transferdurchgang eher für den darauf folgenden Durchgang genutzt werden kann und es somit zu weniger Wahlen des kurzen Stabes im zweiten Transferdurchgang kommt.

Darüber hinaus sollte sich eine gute Arbeitsgedächtnisleistung auch auf die gesamte Transferphase positiv auswirken, so dass sich eine positive Korrelation zwischen der Leistung in der Arbeitsgedächtnisaufgabe und der überzufällig häufigen Wahl des korrekten Stabes (d.h. mit dem Erreichen des Transferkriteriums) zeigen sollte.

Zusammenhänge zwischen Inhibition und Wissenstransfer

Während der Transferphase sind die Kinder mit einem hohen Konflikt zwischen perzeptuellen und funktionalen Werkzeugmerkmalen konfrontiert. Die irrelevanten, aber sehr salienten perzeptuellen Merkmale müssen zugunsten einer funktionalen Wahl unterdrückt

werden. Dies trifft vor allem auf den ersten Transferdurchgang zu, in dem die Kinder noch keinerlei Rückmeldung nutzen können und die neuen Stäbe zum ersten Mal sehen.

Es wurde daher angenommen, dass es Kindern, die eine gute Inhibitionsleistung zeigten, leichter fallen sollte, die perzeptuell salienten, aber irrelevanten Merkmale zu ignorieren und es somit im ersten Transferdurchgang zu einer negativen Korrelation zwischen Inhibitionsleistung und der Wahlhäufigkeit des kurzen Stabes, dessen Griffmerkmale im Konflikt zu den funktional relevanten Hilfsmittelmerkmalen stehen, kommen sollte.

Zusammenhänge zwischen Set-Shifting und Wissenstransfer

Set-Shifting wird definiert als die Fähigkeit, flexibel von einer aufgebauten Assoziation zwischen einem bestimmten Stimulus und einer zugehörigen Reaktion zu einer neuen Reaktion zu wechseln. Genau dies ist im ersten Transferdurchgang notwendig, um nicht den kurzen Stab zu wählen, der Merkmale aufweist, die assoziativ mit Erfolg im Training verknüpft waren. Es wurde daher ein negativer Zusammenhang zwischen der Set-Shifting-Leistung und der Wahl des kurzen Stabes angenommen.

6.1.5. Kodierung und Auswertung

Alle Datenerhebungen wurden mit Hilfe einer Videokamera aufgezeichnet und nachträglich von zwei Beurteilern kodiert. Es konnte somit bei jeder Aufgabe die Beurteilerübereinstimmung ermittelt werden.

Wissenstransfer

Nahezu alle Durchgänge (99%) wurden von zwei unabhängigen Kodierern als eindeutige Stabwahlen identifiziert. Die Übereinstimmung zwischen den Beurteilern war sehr hoch ($ICC = .99$). Für die Auswertung war zunächst von Interesse, ob ein Kind das Trainingskriterium erreicht hatte, denn wie zuvor wurde nur in diesem Fall die Transferleistung analysiert.

Für die Analyse der Transferleistung waren vor allem die Wahlhäufigkeiten des langen und kurzen Stabes (der die perzeptuellen Griffmerkmale des langen Trainingsstabes teilte) relevant.

Arbeitsgedächtnis

Ein Durchgang wurde als erfolgreich gewertet, wenn das Kind nur einen Versuch benötigte, um das Spielzeug zu finden. Zwei unabhängige Beurteiler stimmten in allen Fällen hinsichtlich der Kennzeichnung als Erfolg oder Misserfolg überein. Der mittlere Anteil erfolgreicher Durchgänge über alle Phasen der Aufgaben diente als abhängiges Maß für die Arbeitsgedächtnisleistung.

Inhibition

Als Maß für die Inhibitionsfähigkeit diente die Latenz bis zu dem Zeitpunkt an dem der erste Keks im Mund verschwand. Startzeitpunkt war hierbei das Enthüllen der Kekse. Die Übereinstimmung zwischen den Beurteilern war auch hier sehr hoch ($ICC = .99$).

Set-Shifting

Der Anteil korrekt sortierter Stimuli während beider Postswitch-Phasen diente als abhängige Variable für die Fähigkeit des Kindes, den Aufmerksamkeitsfokus flexibel wechseln zu können. Zwei Beurteiler kamen in allen Fällen zum gleichen Ergebnis.

Ungerichtete Hypothesen wurden zweiseitig, gerichtete einseitig getestet. Dies ist jeweils hinter den Ergebnissen vermerkt. Da es sich bei den ausgewerteten Variablen der Transferleistung um dichotome Variablen handelte (siehe Tabelle 4), wurden punktbiseriale Korrelationen gerechnet. Lag keine Normalverteilung einer intervallskalierten Variable vor, so wurde als Korrelationsmaß Kendall's τ verwendet.

6.2. Ergebnisse

6.2.1. Lernleistung im Training

Die Ergebnisse der Vorgängerstudie konnten repliziert werden (siehe Abbildung 27, links). 68% der Kinder ($n = 21$; 11 Jungen, 10 Mädchen) erreichten das Lernkriterium.

6.2.2. Wissenstransfer

Im ersten Transferdurchgang wurde der kurze Stab deutlich präferiert ($\chi^2(2) = 17.43$, $p < .001$, $\omega = 0.91$, siehe Abbildung 27, rechts) und signifikant häufiger gewählt als der lange Stab ($Z = -2.98$, $p < .01$, $\varphi = 0.65$). Im zweiten Transferdurchgang trat keine Stabpräferenz auf. Alle Werkzeuge wurden annähernd gleich häufig gewählt ($\chi^2(2) = 0.86$, $p = .65$). Erst im vierten Transferdurchgang wurde der funktionale Stab gegenüber den anderen Stäben deutlich präferiert ($\chi^2(1) = 12.80$, $p < .001$, $\omega = 0.80$). Diese Präferenz stabilisierte sich im weiteren Verlauf.

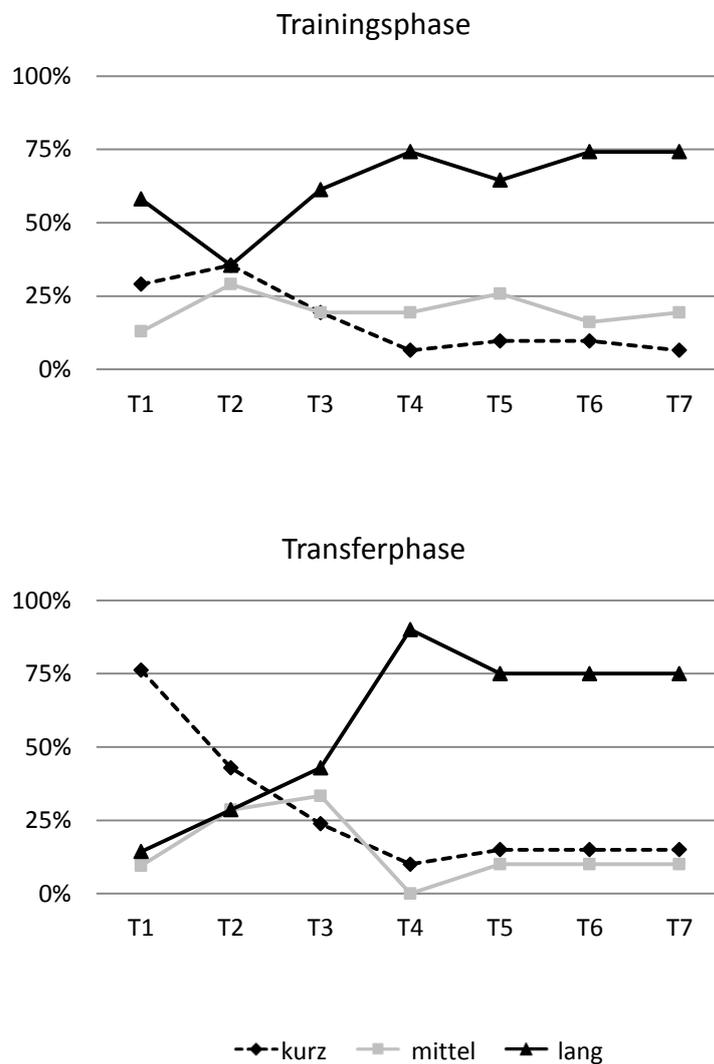


Abbildung 27. Verlaufskurve der Wahlhäufigkeiten aller Stäbe (in %) in der Trainings- und Transferphase

Tabelle 4 gibt eine Übersicht über alle Korrelationen zwischen den beschriebenen Aufgaben.

Tabelle 4. Korrelationen zwischen Maßen der Transferleistung und Anpassungsfähigkeit in der Toolbox-Aufgabe und den Aufgaben zur Erfassung der Komponenten Exekutiver Funktionen (Arbeitsgedächtnis, Inhibition und Set-Shifting). Für die Hypothesen relevante Korrelationen sind schwarz umrahmt.

	Arbeitsgedächtnis	Inhibition	Set-Shifting
1. Transfer kurz	$r = -.02, p = .94$ ($n = 20$, zweiseitig)	$\tau = -.26, p = .10$ ($n = 19$, einseitig)	$r = -.56^*, p = .02$ ($n = 13$, einseitig)
2. Transfer kurz	$r = -.42^*, p = .04$ ($n = 20$, einseitig)	$\tau = .26, p = .19$ ($n = 19$, zweiseitig)	$r = -.03, p = .93$ ($n = 13$, zweiseitig)
Kriterium Transfer	$r = .42^*, p = .03$ ($n = 20$, einseitig)	$\tau = -.11, p = .58$ ($n = 19$, zweiseitig)	$r = .05, p = .88$ ($n = 13$, zweiseitig)
Arbeitsgedächtnis		$\tau = -.02, p = .91$ ($n = 19$, zweiseitig)	$r = .22, p = .33$ ($n = 23$, zweiseitig)
Inhibition			$\tau = .22, p = .18$ ($n = 21$, zweiseitig)
Set-Shifting			

6.2.3. Arbeitsgedächtnis und Wissenstransfer

Daten von $N = 32$ Kindern (17 Jungen, 15 Mädchen) konnten genutzt werden, um die Arbeitsgedächtnisaufgabe genauer hinsichtlich Aufgabenschwierigkeit und Angemessenheit für die vorliegende Altersgruppe zu evaluieren. Die mittlere Anzahl an Erfolgen über alle Phasen hinweg war normalverteilt (*Kolmogorov-Smirnov-Z* = 0.76, $p = .61$; $M = 0.67$, $SD = 0.16$).

Erwartungskonform zeigten sich Unterschiede hinsichtlich des mittleren Erfolges zwischen den Phasen. Phase 1 (drei Kisten, fünf Sekunden Wartezeit; $M = 0.85$, $SD = 0.21$) war einfacher als Phase 2 (drei Kisten, acht Sekunden Wartezeit; $M = 0.72$, $SD = 0.22$; $Z = -3.21$, $p < .001$, $\varphi = 0.57$) und in Phase 3 (sechs Kisten, fünf Sekunden; $M = 0.57$, $SD = 0.31$) traten mehr Fehler auf als in Phase 2 ($Z = -2.57$, $p < .05$, $\varphi = 0.45$). Einzig die beiden letzten Phasen unterschieden

sich nicht signifikant in ihrer Schwierigkeit voneinander (Phase 4: $M = 0.53$, $SD = 0.28$; $Z = -0.25$, $p = .81$).

In weiteren Analysen wurden auch die Fehler genauer evaluiert, um herauszufinden, ob perseverative Fehler, also die wiederholte Wahl der gleichen Kiste in zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen, häufiger auftraten als andere Fehler. Hierzu wurden getrennte Analysen für die Phasen mit drei und sechs Kisten durchgeführt. Der erste Durchgang wurde außerdem jeweils nicht berücksichtigt, da hier keine perseverativen Fehler hätten auftreten können.

Der mittlere Erfolg über beide Phasen mit drei Kisten lag bei 78%. Trat ein Fehler auf, handelte es sich überzufällig häufig um einen perseverativen Fehler (19%, $Z = -3.39$, $p < .001$, $\varphi = 0.60$). Die dritte Kiste, die weder zuvor gewählt worden war, noch richtig war, wurde in nur 3% der Fälle gewählt ($Z = -5.13$, $p < .001$, $\varphi = 0.91$). In den beiden letzten Phasen der Aufgabe, in der sechs Kisten zur Wahl standen, lag die mittlere Erfolgsrate bei 52%. Trat ein Fehler auf, handelte es sich in nur 16% der Durchgänge um einen perseverative Fehler ($Z = -0.74$, $p = .46$), in 33% der Fälle traten hingegen andere Fehler auf ($Z = -4.86$, $p < .001$, $\varphi = 0.86$).

Da nicht alle Kinder sowohl die Wissenstransferaufgabe als auch die Arbeitsgedächtnisaufgabe komplett mitgemacht hatten, beziehen sich die folgenden Analysen auf eine Stichprobengröße von $n = 20$ Kindern (10 Jungen, 10 Mädchen), von denen beide Datensätze vorliegen. Hypothesenkonform ergab sich eine negative Korrelation zwischen der Arbeitsgedächtnisleistung und der Wahl des kurzen Stabes im zweiten Transferdurchgang ($r = -.42$, $p = .04$, einseitig). Darüber hinaus war auch das Erreichen des Transferkriteriums positiv mit der Arbeitsgedächtnisleistung assoziiert ($r = .42$, $p = .03$, einseitig).

6.2.4. Inhibition und Wissenstransfer

Nur sehr wenige der 22 Monate alten Kinder warteten länger als einige Sekunden bis sie den Keks in den Mund nahmen. Lediglich vier Kinder schafften es, die gesamte Zeit, also 120 Sekunden, zu warten ($M = 24.41$ Sekunden, $SD = 38.60$ Sekunden, $Mdn = 8.66$ Sekunden, *Spannweite* = 3-120 Sekunden). Die Daten waren somit nicht normalverteilt (*Kolmogorov-Smirnov-Z* = 1.94, $p < .01$).

Wiederum hatten nicht alle Kinder sowohl die Toolbox- als auch die Inhibitionsaufgabe absolviert, so dass sich im Folgenden die Analysen auf eine Teilstichprobe von $n = 19$ Kindern beziehen, für die beide Datensätze vorlagen (10 Jungen, 9 Mädchen; $M = 21.35$ Sekunden,

$SD = 35.30$ Sekunden, $Mdn = 7.53$ Sekunden, $Spannweite = 3-120$ Sekunden). Auch hier lag keine Normalverteilung vor ($Kolmogorov-Smirnov-Z = 1.81$, $p < .05$).

Die Inhibitionsleistung der Kinder war nicht, wie angenommen, negativ mit der Wahlhäufigkeit des kurzen Stabes im ersten Transferdurchgang assoziiert. Es zeigte sich jedoch eine Tendenz in diese Richtung ($\tau = -.26$, $p = .10$, einseitig). Kinder, die gut warten konnten, neigten tendenziell weniger dazu, sich im 1. Transferdurchgang in ihrer Stabwahl am perzeptuell salienten Merkmal ‚Griff‘ zu orientieren.

Keines der Kinder, die im ersten Transferdurchgang den kurzen Stab wählten, wartete in der Inhibitionsaufgabe länger als 25 Sekunden, bis es den ersten Keks aß, während zwei der vier Kinder, die im Transfer nicht den kurzen Stab wählten, ganze 120 Sekunden warteten. Weil der insgesamt selten etwas anderes als der kurze Stab gewählt wurde, sind diese Unterschiede nur deskriptiv und mit großer Vorsicht zu interpretieren. Bevor weitreichende Schlussfolgerungen möglich sind, bedarf es weiterer Testungen.

6.2.5. Set-Shifting und Wissenstransfer

Die Analyse der Set-Shifting-Aufgabe basierte auf Daten von $n = 23$ Kindern (11 Jungen, 12 Mädchen). Zwar hatten $N = 28$ Kinder die Aufgabe vollständig bearbeitet. Fünf dieser Kinder erreichten jedoch nicht das Lernkriterium der Formen-Trainingsphase (fünf richtige aus sechs Durchgängen).

Der Anteil richtiger Zuordnungen über beide Postswitch-Phasen war normalverteilt ($Kolmogorov-Smirnov-Z = 1.03$, $p = .24$, $M = 0.59$, $SD = 0.15$). Die Phasen schienen unterschiedlich schwierig zu sein ($t(22) = 3.47$, $p < .01$, $d = 1.18$). In Postswitchphase A ($M = 0.75$, $SD = 0.28$) wurde häufiger richtig sortiert als in Postswitchphase B ($M = 0.43$, $SD = 0.27$).

Hypothesenkonform ergab sich eine negative Korrelation zwischen der Häufigkeit der Wahl des kurzen Stabes im ersten Transferdurchgang und der Set-Shifting-Leistung der Kinder ($r = -.56$, $p = .02$, $n = 13$, einseitig).

6.2.6. Zusammenhänge zwischen den Komponenten Exekutiver Funktionen

Im Widerspruch zu Arbeiten mit älteren Kindern, jedoch im Einklang mit ersten Studien zur Struktur Exekutiver Funktionen im Vorschulalter (siehe Kapitel 3.1.3., S. 84), ergaben sich

keine signifikanten Zusammenhänge zwischen den erfassten Komponenten Exekutiver Funktionen (siehe Tabelle 4).

6.3. Diskussion

6.3.1. Wissenstransfer

Die Ergebnisse der Vorgängerstudie konnten repliziert werden. 68% der 22 Monate alten Kinder erreichten das Trainingskriterium. Auch in dieser Studie fiel es den Kindern schwer, funktionales Werkzeugwissen direkt auf eine leicht veränderte Situation zu übertragen. Sie orientierten sich deutlich an perzeptuellen, aber für die Lösung irrelevanten Merkmalen und wählten am häufigsten den kurzen Stab aus. Auch konnten die Kinder ihr Verhalten nicht flexibel über Rückmeldung zum Erfolg ihrer Stabwahl anpassen: Im zweiten Transferdurchgang zeigten sie keine Präferenz für einen bestimmten Stab, sondern wählten zufällig eines von drei Werkzeugen aus. Erst nach dem vierten Durchgang wurde der richtige Stab überzufällig häufig gewählt und die Leistung stabilisierte sich daraufhin in den Folgedurchgängen.

6.3.2. Arbeitsgedächtnis und Wissenstransfer

Die Analyse der Daten zur Arbeitsgedächtnisaufgabe bestätigte, dass sich die Schwierigkeit von Phase zu Phase steigerte. Die Kistenanzahl schien hierbei jedoch einen größeren Einfluss auf die Aufgabenschwierigkeit zu haben als eine Verlängerung der Wartezeit. Die Wartezeit spielte vermutlich nur dann eine Rolle, wenn die Kistenanzahl keine allzu großen Anforderungen stellte (Phase 1 vs. Phase 2). In den letzten beiden Phasen, in denen die doppelte Anzahl an Kisten zu verarbeiten war, wirkte sich die Verlängerung der Wartezeit nicht bedeutsam auf die Leistung aus und es kam in beiden Phasen zu einer vergleichbaren Erfolgsrate, die unter jener der ersten beiden Phasen lag.

Eine genauere Untersuchung der Fehler zeigte, dass in den ersten beiden Phasen (drei Kisten) perseverative Fehler überzufällig häufig auftraten, wohingegen es in den letzten beiden Phasen nur zufällig zu perseverativen Fehlern kam. Möglicherweise lag dies an den höheren Anforderungen der letzten beiden Phasen. Die Schwierigkeit der beiden Phasen mit sechs Kisten könnte dazu geführt haben, dass Schwierigkeiten der Perseveration nicht mehr so stark ins Gewicht fallen wie dies bei den eher einfachen Phasen mit drei Kisten der Fall ist. Dort stellt möglicherweise die Perseveration die einzige Hürde dar, während bei einer größeren Kistenanzahl zusätzliche Fehler hinzukommen.

Um zu Beginn der Transferphase erfolgreich zu sein und sich bei flexibel anpassen zu können, muss bei einem Fehler im ersten Transferdurchgang die Information, die fälschlicherweise fokussiert wurde, aktualisiert werden. Hypothesenkonform ergab sich ein Zusammenhang zwischen der Arbeitsgedächtnisleistung und der Anpassungsfähigkeit der Kinder im zweiten Transferdurchgang. Kinder, die mehr Erfolg bei der Arbeitsgedächtnisaufgabe hatten, wählten seltener den kurzen Stab.

Auch zeigten sie erwartungsgemäß häufiger eine überzufällig gute Leistung im Transfer, was sich in der positiven Korrelation zwischen der Arbeitsgedächtnisleistung und dem Erreichen des Transferkriteriums zeigte.

6.3.3. Set-Shifting und Wissenstransfer

Die entwickelte Set-Shifting-Aufgabe scheint für den Einsatz im Alter von 22 Monaten geeignet zu sein. 82% der Kinder zeigten in der Formentrainingsphase, dass es ihnen möglich war, konsistent nach Form zu sortieren. Ihre Leistung in beiden Postswitch-Phasen konnte somit ausgewertet werden und war annähernd normalverteilt über beide Postswitch-Phasen.

Auch die Fähigkeit, den Aufmerksamkeitsfokus flexibel wechseln zu können, schien wie erwartet mit der Transferleistung assoziiert zu sein. Kinder, die erfolgreicher in der Set-Shifting-Aufgabe waren, wählten auch seltener den kurzen Stab im ersten Transferdurchgang. Möglicherweise gelang es ihnen eher, den Aufmerksamkeitsfokus vom irrelevanten Merkmal Griff zu lösen und sich auf das funktionale Merkmal Länge zu konzentrieren.

Die Interpretation der Zusammenhänge zwischen Set-Shifting und der Leistung der Kinder im ersten Transferdurchgang muss jedoch mit großer Vorsicht erfolgen. Zu bedenken gilt, dass lediglich 23% der Kinder ($n = 3$), zu denen sowohl auswertbare Set-Shifting- als auch Toolbox-Daten vorliegen, im ersten Transferdurchgang etwas anderes als den kurzen Stab gewählt hatten.

6.3.4. Inhibition und Wissenstransfer

Die Leistungen der Kinder in der Inhibitionsaufgabe deuten an, dass diese noch zu schwierig für die untersuchte Altersgruppe war. Die mittlere Wartezeit der Kinder war äußerst gering und die meisten Kinder warteten weniger als 12 Sekunden (63%).

Zwischen der Inhibitionsfähigkeit der Kinder in der Verbotener-Keks-Aufgabe und der Wahl des kurzen Stabes im ersten Transferdurchgang ergab sich wider Erwarten kein Zusammenhang. Angenommen wurde hier, dass Kinder, die dominante Impulse eher unterdrücken können, das irrelevante, aber perzeptuell saliente und zuvor mit Erfolg assoziierte Merkmal Griffaussehen auch eher würden ausblenden können. Das Ausbleiben eines signifikanten negativen Zusammengangs muss jedoch nicht bedeuten, dass die Inhibitionsleistung der Kinder für die Transferleistung keine Rolle spielt.

Die wenigen Kinder, denen es gelang, keinen perzeptuellen Fehler im ersten Transferdurchgang zu begehen, schienen auch bessere Leistungen in der Inhibitionsaufgabe zu zeigen. Jedoch kann dies aufgrund der erheblichen Unterschiede hinsichtlich der Subgruppengröße (nur 21%, d.h. $n = 4$ Kinder wählten im ersten Transferdurchgang etwas anderes als den kurzen Stab) lediglich als Anreiz verstanden werden, dem Zusammenhang zwischen Inhibitionsfähigkeit und Transferleistung weiter nachzugehen.

Gründe für fehlende Zusammenhänge könnten auch in der Operationalisierung der Inhibitionsfähigkeit gesehen werden. Wie zuvor angesprochen könnte die Aufgabe zu schwierig für die untersuchte Altersgruppe gewesen sein. Auch kann nicht ausgeschlossen werden, dass einige Kinder die Aufgabeninstruktion möglicherweise nicht richtig verstanden hatten, da die verbalen Fähigkeiten im Alter von 22 Monaten noch äußerst variabel sind. Die zusätzliche Erfassung der Sprachfähigkeit war jedoch aufgrund der mit Pause bereits über einstündigen Dauer einer Erhebung leider nicht möglich.

6.3.5. Aufgabencharakter

Auch der Charakter der Aufgabe könnte dazu beigetragen haben, dass sich kein Zusammenhang zwischen der Inhibitionsaufgabe und der Transferleistung in der Toolbox-Aufgabe zeigte. Es handelt sich um eine äußerst motivierende Aufgabe, bei der sogar ein Grundbedürfnis (Nahrungsaufnahme) angesprochen wird. Man würde sie daher sicherlich eher den „heißen“ Exekutiven Funktionen zuordnen (siehe Kapitel 3.2.4., S. 105). Sowohl die Toolbox- als auch die Set-Shifting-Aufgabe können hingegen als eher abstrakte Probleme und somit als eher „kühle“ Aufgaben gesehen werden. Somit erscheint es plausibel, dass sich eher Zusammenhänge zwischen den vom Charakter her ähnlichen Aufgaben zur Erfassung von Set-Shifting und Transferleistung ergaben. Auch Arbeitsgedächtnisaufgaben werden meist eher den kühlen Aufgaben zugerechnet. Im Falle der in dieser Studie genutzten Arbeitsgedächtnisaufgabe

ist diese Zuordnung allerdings keinesfalls so einfach. In dieser Aufgabe wurde ein attraktives Spielzeug als Belohnung versteckt. Um erfolgreich in der Aufgabe zu sein, musste das unmittelbare Greifen nach dem Spielzeug nach dem Verstecken unterdrückt werden, da zwischen Verstecken und Suchen eine Wartezeit von einigen Sekunden lag. Die Aufgabe scheint daher keinesfalls sehr kühl zu sein. Möglicherweise hätten sich bei einer eher kognitiv orientierten Aufgabe noch deutlichere Zusammenhänge ergeben.

Für zukünftige Studien erscheint es besonders wichtig, die motivationale Zuordnung der Aufgaben besser zu klären und jede Komponente sowohl mit heißen als auch mit kühlen Aufgaben zu testen. Der Versuchsablauf müsste dazu jedoch verkürzt oder auf mehrere Erhebungszeitpunkte aufgeteilt werden. Auch sollte beachtet werden, dass Aufgaben für Kleinkinder stets eine motivierende Komponente beinhalten müssen, damit sich die Probanden kooperativ zeigen und die Aufgabe vollständig bearbeiten.

Anzumerken bleibt auch, dass es besonders lohnen könnte, neben der einfachen auch die komplexe Inhibitionsleistung zu erfassen und diese in Bezug zur Häufigkeit korrekter Wahlen im ersten Transferdurchgang zu setzen. In der vorliegenden Toolbox-Aufgabe ist es für eine gute Leistung im ersten Transferdurchgang nicht nur wichtig, irrelevante aber saliente Aspekte zu unterdrücken. Gleichzeitig muss auch eine alternative, subdominante Reaktion gezeigt werden: Neben dem Ausblenden des kurzen Stabes muss der lange Stab ausgewählt werden, der einen Griff besitzt, der im Training an einem nicht-funktionalen Werkzeug montiert war.

6.3.6. Zusammenhänge zwischen den Komponenten Exekutiver Funktionen

Über die Erforschung des Zusammenhangs zwischen den Komponenten Exekutiver Funktionen und der Transfer- und Anpassungsfähigkeit 22 Monate alter Kinder hinaus war ein Ziel der vorliegenden Studie, altersadäquate Aufgaben, insbesondere eine angemessene Set-Shifting-Aufgabe, zu finden. In der Literatur wird das Fehlen von Erfassungsmethoden für unter zwei Jahre alte Kinder immer wieder bemängelt. An einigen Stellen wird gar davon gesprochen, dass es notwendig sei, die „fear of the terrible twos“ zu bekämpfen (Hughes & Ensor, 2007). Studie 3 hat sich dem zugewandt und nach einer langen Phase der Pilotierung eine Set-Shifting- und eine Arbeitsgedächtnisaufgabe entwickelt, die hinsichtlich ihrer Aufgabenschwierigkeit angemessen für den Einsatz mit 22 Monate alten Kindern erscheinen.

Als nächstes muss die Güte der Aufgaben genauer evaluiert werden. Darüber hinaus sollte eine externe Validierung erfolgen. Dies könnte beispielsweise längsschnittlich mit der Standardversion der Dimensional-Change-Card-Sort-Aufgabe (Zelazo, 2006; siehe Kapitel 3.2.3.,

S. 99) und der Corsi-Block-Aufgabe (Kessels et al., 2000; siehe Kapitel 3.2.2., S. 96) im Alter von dreieinhalb Jahren geschehen. Weitere 22 Monate alte Kinder sollten hierzu getestet und längsschnittlich untersucht werden. Darüber hinaus liegen bereits Fremdeinschätzungen der Selbstregulationsfähigkeit der Kinder vor, da die Eltern in der Pause nach der Toolbox-Aufgabe den Fragebogen zum Impulsmanagement (IMMA) ausfüllten (siehe Kapitel 6.1.3., S. 157151). Diese könnten zusätzlich als externes Kriterium herangezogen und erneut mit dreieinhalb Jahren erhoben werden.

In der vorliegenden Studie ergaben sich keinerlei Korrelationen der Maße Exekutiver Funktionen untereinander. Dies ist keinesfalls ungewöhnlich. Andere Studien, die mit Zwei- bis Dreijährigen durchgeführt wurden, zeichnen ein ähnliches Bild (vgl. Carlson, Mandell & Williams, 2004; Carlson, Moses, & Claxton, 2004; Hughes & Ensor, 2005, 2007; siehe Kapitel 3.1.3., S. 84). Es scheint daher dringend erforderlich, die an älteren Kindern und Erwachsenen entwickelten Modelle zur Struktur von Exekutiven Funktionen (z.B. Miyake & Friedman, 2012; Miyake et al., 2000) umfassend auch an jüngeren Kindern zu überprüfen, um neue Erkenntnisse über die Entwicklung dieser wichtigen Basisfunktionen kognitiver Prozesse zu erhalten. Dabei wäre es wichtig, die einzelnen Komponenten mit mehr als nur einer Aufgabe zu erfassen. Auch sollten sowohl eher „heiße“ als auch eher „kühle“ Aufgaben zum Einsatz kommen (siehe Kapitel 3.2.4., S. 105).

6.3.7. Grenzen der Ergebnisinterpretation und Ausblick

Zwar schränkt die Tatsache, dass im ersten Transferdurchgang insgesamt nur sehr wenige Kinder etwas anderes als den kurzen Stab gewählt hatten, die Ergebnisinterpretation deutlich ein. Dennoch ist es interessant, dass genau in diesen seltenen Fällen auch die Set-Shifting-Fähigkeit und die Inhibitionsleistung höher als bei anderen Kindern zu sein schien.

In einem nächsten Schritt ist es unbedingt notwendig, auch die Exekutiven Funktionen 24 Monate alter Kinder zu erfassen und diese im Zusammenhang mit ihren Leistungen in der Toolbox-Transferaufgabe zu untersuchen. In diesem Alter ist eine geringere perzeptuelle Fehlerrate im ersten Transferdurchgang zu erwarten. Die Ergebnisse sollten mit der vorliegenden Altersgruppe verglichen werden. Erhebungen hierzu sind bereits angelaufen, jedoch leider noch nicht abgeschlossen. Nur im Vergleich beider Altersgruppen wird jedoch eine genauere Interpretation der Entwicklungen hinsichtlich Transfer- und Anpassungsfähigkeit möglich sein.

7. Gesamtdiskussion und Ausblick

“[...] Skilled people are adept at assessing the current situation or noticing the relevant stimuli in the physical and social environment. [...] Skilled people are adept at recalling from memory similar but not identical situations, using their past experience, and choosing an action that fits their current situation [...]. [...] Skilled people thus have consistent behavior in similar situations but are good at changing their actions rapidly and appropriately when the situation changes.”

-- Esther Thelen (2000, S. 5f)

Thelens Beschreibung fasst viele Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit zusammen. Erfahrene Personen passen ihre Verhaltensweisen an neue Umstände an. Hierbei müssen sie zunächst relevante Informationen erkennen. Analoge Situationen können aus dem Gedächtnis abgerufen und die Erfahrungen aus vorangegangenen Situationen können flexibel auf die neue Situation angewendet werden.

Die vorliegende Studienreihe demonstriert, dass sich wichtige Entwicklungen zu einer „Skilled Person“, einem erfahrenen Problemlöser, bereits in den ersten Lebensjahren vollziehen.

Studie 1 zeigte, dass bereits 24 Monate alte Kinder ihr Problemlöseverhalten in neuen Situationen flexibel anpassen und relevante funktionale Aspekte eines Werkzeugs abrufen konnten. Es zeigte sich jedoch auch, dass irrelevante, aber saliente Merkmale auf den spontanen Wissenstransfer Einfluss nehmen. Dies galt besonders dann, wenn Informationen über die kausale Wirkung eines funktionalen Merkmals fehlten und perzeptuell saliente Merkmale von der relevanten Information ablenkten.

Wie **Studie 2** belegt, tritt dieser Effekt noch deutlicher bei jüngeren Kindern (22 Monate) auf. Auch wenn kausale Informationen zugänglich waren, lag der Aufmerksamkeitsfokus der meisten Kinder zunächst auf dem irrelevanten Merkmal, das perzeptuell salienter war. Auch dauerte es länger, bis die jüngeren Kinder ihr Verhalten an die neue Situation anpassen konnten. Sie schienen Rückmeldungen und Vorwissen in Transfersituationen deutlich schlechter zu nutzen als die 24 Monate alten Kinder. 18 und 20 Monate alten Kindern fiel gar das Erlernen der Lösungsstrategie trotz Beobachtung einer Demonstration schwer. Sie konnten Rückmeldungen über die Effizienz eines gewählten Werkzeugs deutlich schlechter nutzen als ältere Kinder.

Studie 3 untersuchte Basisprozesse der zielgerichteten, flexiblen Verhaltenskontrolle und -modifikation, die möglicherweise mit der Entwicklung der Transferfähigkeit und der Verhaltensanpassung einhergehen. Hierbei ergaben sich erste Hinweise auf Zusammenhänge zwischen der Fähigkeit, den Aufmerksamkeitsfokus flexibel wechseln zu können und der

spontanen Transferleistung, sowie zwischen der Arbeitsgedächtniskapazität und dem flexiblen Anpassen an Rückmeldung. Folglich scheinen Exekutive Funktionen tatsächlich für den Erwerb und Gebrauch von Werkzeugwissen von Bedeutung zu sein – zumindest in Situationen, in denen Transferleistungen eine Veränderung des Aufmerksamkeitsfokus auf bestimmte Eigenschaften eines Werkzeuges implizieren, die im Konflikt zu bisher beachteten Merkmalen stehen.

Siegler nahm in seiner Theorie überlappender Wellen (Siegler, 1996; siehe auch Chen & Siegler, 2000; Siegler, 2000; siehe auch Kapitel 2.6.5., S. 72) an, dass bereits Kleinkindern mehrere unterschiedliche Strategien simultan zur Verfügung stehen, um ein gegebenes Problem zu lösen. Dass sich 24 Monate alte Kinder sowohl an perzeptuell salienten, aber lösungsirrelevanten Merkmalen als auch an lösungsrelevanten Informationen orientieren können, wenn sie ein Werkzeug auswählen, und bei der Entscheidung, worauf sie achten sollen, Rückmeldungen zur Wirksamkeit der jeweiligen Hilfsmittel berücksichtigen, stimmt mit diesen Annahmen überein.

Dabei gilt es zu beachten, dass Werkzeugeigenschaften, die rein assoziativ und nicht funktional mit der Zielerreichung in Zusammenhang stehen, dennoch hilfreich und valide sein können, wenn es um die Identifikation geeigneter Werkzeuge geht (siehe Konzept der „Cue Validity“, Kapitel 2.6.4., S. 69; Bulloch & Opfer, 2009; Opfer & Bulloch, 2007). Dies gilt vor allem dann, wenn keine Informationen zum Wirkmechanismus vorliegen.

In Studie 1 nutzten die Kinder in Abhängigkeit von der Situation unterschiedliche Strategien: Waren keine kausalen Informationen verfügbar, achteten die Kinder eher auf assoziativ mit dem Erfolg verknüpfte Informationen (d.h. auf Merkmale des Griffes). Wurde jedoch der Wirkmechanismus eines Werkzeuges deutlich, so schien die Funktionalität stärker in den Fokus zu rücken und die Auswahl zu bestimmen (d.h. Auswahl nach Länge).

Auch schien mehr als nur eine mögliche Lösungsstrategie in Betracht gezogen zu werden, denn im Anschluss an eine überzufällig häufige Wahl des korrekten Stabes im zweiten Transferdurchgang wählten die Kinder in der Causal-Info/Low-Conflict-Bedingung plötzlich jenen Stab häufiger, der die gleiche absolute Länge besaß wie das richtige Werkzeug in der Trainingsphase. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass die Kinder ausprobierten, ob es neben der bereits erkannten Lösungsstrategie noch weitere Möglichkeiten der Zielerreichung gab.

Neben diesem Zeugnis kleinkindlicher Flexibilität zeigte sich aber ebenso deutlich, dass auch das Ausmaß des Konfliktes zwischen perzeptuell salienten aber irrelevanten und funktional relevanten Werkzeugmerkmalen Einfluss auf die spontane Transferleistung hatte. Mussten die Kinder zwischen der Orientierung an einem auffälligen Handgriff oder dem weniger salienten Merkmal Länge entscheiden, schien ihnen der Handgriff bedeutsamer. Mussten sie sich dagegen zwischen absoluter und relativer Länge entscheiden, konnten sie sich eher auf die relative Länge

beziehen. In Zusammenhang mit der Entwicklung Exekutiver Funktionen im Kleinkindalter erscheint dies theoretisch plausibel (siehe Kapitel 3.2., S. 90). Das Überwinden eines solchen Konfliktes scheint zentrale Entwicklungsaufgabe bis ins junge Erwachsenenalter zu sein (Frye et al., 1998; Zelazo & Frye, 1998; Zelazo et al., 2003; siehe Kapitel 2.6.6., S. 75; Kapitel 3.3., S. 107). Auch empirisch deuten die Ergebnisse aus Studie 3 Zusammenhänge zwischen den Exekutiven Funktionen und der spontanen Transfer- und Anpassungsfähigkeit in Cross-Mapping-Problemsituationen an.

Es scheint prinzipiell denkbar, dass sich ein perzeptueller Konflikt vor allem dann negativ auswirkt, wenn die Lösungsrepräsentation eines Problems noch eher schwach ist (siehe Graded-Representations-Ansatz, Munakata, 2001; Kapitel 3.2.3., S. 99). Die Repräsentationsstärke für das kausal relevante Merkmal Länge könnte im Falle der vorliegenden Studie für die Auswahl des korrekten Stabes im ersten Transferdurchgang noch nicht stark genug gewesen sein, so dass es häufig noch zur falschen Wahl kam, obwohl die Kinder die relevante Information enkodiert hatten und rasch zur richtigen Lösung wechseln konnten, wenn sie Rückmeldung erhielten und die kausale Wirkung des Werkzeuges sehen durften.

Äußerst interessant wäre es, die Blickmuster der Kinder zu analysieren. Möglicherweise kommt es –wie beispielsweise in Studien zum A-nicht-B-Suchfehler (siehe Kapitel 2.2.3., S. 20)– zu Unterschieden zwischen Blickverhalten und motorischer Handlung. Die Repräsentation könnte stabil genug sein, um den Blick auch in der Konfliktsituation im ersten Transferdurchgang auf das richtige Werkzeug zu lenken. Für die Steuerung der Greifhandlung reicht die Repräsentationsstärke aber möglicherweise noch nicht bei allen Kindern aus, so dass trotz korrektem Blick das falsche Hilfsmittel gewählt wird.

Noch stabilere Repräsentationen sind für das Benennen der korrekten Lösung notwendig. Interessant in diesem Zusammenhang ist die anekdotische Beobachtung eines Kindes, das im ersten Transferdurchgang die richtige Wahl traf, dessen verbale Reaktion jedoch nicht mit dieser richtigen Handlung übereinstimmte. Das Kind sagte zunächst mehrfach „blau“ nachdem es dazu aufgefordert wurde, den richtigen Stab auszuwählen. Es wählte anschließend jedoch nicht den kurzen Stab mit blauem Griff aus, sondern das lange, funktionale Werkzeug mit gelbem Griff. Unterschiedliche Maße (z.B. Blick, Verhalten und Verbalisierung) könnten in Kombination äußerst aufschlussreich sein. Inkonsistenzen sollten daher auch als Untersuchungsgegenstand gesehen und näher untersucht werden. Der Einsatz mehrerer Analyseebenen kann eine umfassendere Erforschung der Entwicklung flexibler Transfer- und Anpassungsfähigkeit ermöglichen.

7.1. Inter-Spezies-Vergleich: Menschliche Kleinkinder (*Homo sapiens*), Schimpansen (*Pan troglodytes*) und gehaubte Kapuzineraffen (*Sapajus apella*)

Die Entwicklung menschlicher Transferfähigkeit kann nur dann umfassend verstanden werden, wenn sie auch phylogenetisch betrachtet wird. Vergleiche mit uns nahestehenden, sowie weit entfernt verwandten Arten können hierbei äußerst aufschlussreich sein. Unterschiede und Gemeinsamkeiten in Verhaltensweisen beim Problemlösen und in Aufgaben zur Erfassung von kognitiven Basisprozessen können so untersucht und im Rahmen des Lebensraumes der entsprechenden Spezies interpretiert werden.

Ausgehend von diesen Überlegungen wurde das Studiendesign in Zusammenarbeit mit Primatologen entwickelt. Neben der hier beschriebenen menschlichen Stichprobe wurden im Rahmen von Studie 1 ebenfalls Daten von Schimpansen (*Pan troglodytes*) und Kapuzineraffen (*Sapajus apella*) erhoben (siehe Sabbatini et al., 2012). Dabei wich der Versuchsablauf teilweise von dem mit Kindern ab. So wurde als Belohnung ein primärer Verstärker (ein Stück Erdnuss) genutzt. Piloterhebungen mit Kindern hatten ergeben, dass diese ein Stück Nahrung (Rosine, Traube, Gummibärchen oder Popcorn) als weniger belohnend empfanden als eine Kugel, die sie in die Effektkiste werfen durften, um einen interessanten Ton zu erzeugen. Die Belohnung wurde in den Versuchen mit Tieren also durch eine einfachere Mittel-Ziel-Handlung erreicht, wohingegen der belohnende Effekt (Klingeln der Effektkiste) im Falle der Kleinkinder nur in einem mehrschrittigen Prozess erreicht werden konnte.

Auch nutzten die nicht-menschlichen Primaten die Werkzeuge selbst. Sie wählten sie in einer analog zu den Menschenkindern gestalteten Auswahlkiste aus, erhielten dann das gewählte Werkzeug vom Versuchsleiter und durften dieses anschließend selbst in der Toolbox nutzen, um an die Belohnung zu gelangen. Im Versuch mit Tieren waren erheblich mehr Trainingsdurchgänge notwendig, die über mehrere Tage verteilt wurden. Das Training wurde hier so lange durchgeführt, bis alle Individuen das Lernkriterium erreicht hatten, das aus mindestens 12 richtigen aus 18 möglichen Durchgängen in zwei aufeinanderfolgenden Sitzungen bestand.

Wie bei den Kindern wurde die Variation der Information über die Kausalwirkung des Werkzeuges als Between-Subject-Bedingung realisiert. Das Ausmaß perzeptuellen Konflikts hingegen wurde im Tierversuch als Within-Subject-Bedingung realisiert, sodass alle zunächst den High-Conflict-Transfer durchliefen, ehe der Low-Conflict-Transfer folgte. Erfolgreiche Individuen im High-Conflict-Transfer erhielten zudem ein zweites Training ehe sie den die Low-Conflict-Transferaufgabe durchliefen, indem die Griffe in jedem Durchgang vertauscht waren, so dass keine feste Assoziation zwischen Griffmerkmalen und Erfolg aufgebaut werden konnte.

Kapuzineraffen ließen sich von perzeptuell salienten, aber lösungsirrelevanten Merkmalen fehlleiten. In den High-Conflict-Bedingungen war ihnen der Transfer der funktionalen Information nicht möglich. Im ersten Transferdurchgang wählten 63% den Stab, dessen Griffmerkmale im Training mit Erfolg assoziiert waren (Bechtel et al., 2013). Ihre Leistung verbesserte sich auch über mehrere Durchgänge hinweg nicht (Sabbatini et al., 2012). Nachdem die Individuen ein weiteres Training erhalten hatten, in welchem die Griffe in jedem Durchgang vertauscht waren, wurde in immerhin rund 60% der Durchgänge das funktionale Werkzeug ausgewählt, wenn alle Griffe identisch waren und die relative Länge entscheidendes funktionales Merkmal war (Low-Conflict). Dies gelang jedoch nicht unmittelbar im ersten Transferdurchgang. Hier zeigte sich zunächst keine Präferenz für einen Stab (Bechtel et al., 2013; Sabbatini et al., 2012).

Bereits im Training deuteten sich zwischen Kapuzineraffen und Schimpansen interessante Unterschiede an. Schimpansen benötigten deutlich weniger Trainingsdurchgänge bis sie das Lernkriterium erreichten. Im Transfer ließen sie sich im Gegensatz zu den Kapuzineraffen kaum von den perzeptuell salienten Griffmerkmalen ablenken. Sie präferierten in der High-Conflict-Bedingung bereits im ersten Transferdurchgang den langen Stab (75%). Auch über die gesamte Transferphase hinweg wurde das korrekte Werkzeug deutlich gegenüber den anderen beiden Stäben bevorzugt. Der Transfer auf das Low-Conflict-Stabset gelang 75% der Individuen unmittelbar (Bechtel et al., 2013; Sabbatini et al., 2012).

Ein direkter Vergleich zwischen Kindern und nicht-menschlichen Primaten ist durch die Abweichungen des Versuchsablaufes und der enormen Unterschiede hinsichtlich des Stichprobenumfangs (Schimpansen: $N = 8$, Kapuzineraffen: $N = 8$, menschliche Kleinkinder: $N = 123$) nicht möglich. Die Ergebnisse deuten aber interessante Unterschiede an und verweisen gleichzeitig auf die Möglichkeit ähnlicher zugrunde liegender Prozesse.

So zeigte sich bei beiden Affenarten im Gegensatz zu den menschlichen Kleinkindern kein Einfluss kausaler Informationen. Weder in der Trainings- noch in der Transferphase (Sabbatini et al., 2012). Diese fehlenden Effekte passen einerseits zu Befunden, die ein elaboriertes Kausalitätsverständnis bei Kapuzineraffen und Schimpansen in Frage stellen und davon ausgehen, dass keine andere Spezies eine dem Menschen vergleichbare Motivation besitzt, kausale Zusammenhänge zu verstehen und für die eigenen Handlungen zu nutzen (siehe Kapitel 2.4.2., S. 47; Penn & Povinelli, 2007; Povinelli & Dunphy-Lelii, 2001; Visalberghi & Limongelli, 1994). Sie widersprechen allerdings Befunden, die zeigen, dass Schimpansen kausale Informationen bei Werkzeughandlungen durchaus berücksichtigen können (z.B. Horner & Whiten, 2005). Eine Replikation mit einer größeren Stichprobe von Tieren ist daher unbedingt

notwendig. Darüber hinaus könnte das Kausalverständnis der Individuen in einer weiteren Aufgabe untersucht und mit ihrer Leistung in Zusammenhang gebracht werden.

Auch bei nicht-menschlichen Primaten wären Unterschiede in der Exekutiven Funktionsfähigkeit eine denkbare Erklärung für Transferleistungsdifferenzen. Kapuzineraffen schneiden in Arbeitsgedächtnisaufgaben in aller Regel deutlich schlechter ab als Schimpansen (z.B. Amici, Aureli, & Call, 2010). Inhibitionsaufgaben, bei denen beispielsweise Essen angesammelt werden soll, weisen in die gleiche Richtung (z.B. Evans, Beran, Paglieri, & Addessi, 2012). Es ist daher denkbar, dass bessere Exekutive Funktionen der Schimpansen zu der Überlegenheit in beiden Transferaufgaben führte. Vergleiche der Spezies hinsichtlich ihres Arbeitsgedächtnisses, ihrer Set-Shifting-Fähigkeiten und ihrer Inhibitionsleistung in Zusammenhang mit Transferleistungen bei Problemlöseaufgaben scheinen somit lohnenswert.

7.2. Lernen durch Versuch und Irrtum vs. rationales Denken

Bereits in den 1920er Jahren tauchte in der Tierforschung die Unterscheidung zwischen zwei unterschiedlichen Problemlöseprozessen auf (Köhler, 1921; Kapitel 1., S. 7): Problemlösen via Versuch und Irrtum und Problemlösung durch Nachdenken und Einsicht. Gerade wenn es sich um Versuchsdesigns handelt, die mehrere Durchgänge der gleichen Aufgabenstellung umfassen, stellt sich immer die Frage, ob und inwiefern funktionale Reaktionen überhaupt Einsicht erfordern oder ob sie schlicht durch operante Konditionierungsprozesse erklärt werden können (siehe hierzu auch Sanz et al., 2013).

Bei Kapuzineraffen schien es im vorliegenden Paradigma keine Rolle zu spielen, ob kausale Informationen über die Werkzeugwirkung zugänglich waren (Sabbatini et al., 2012). Darüber hinaus benötigten sie stets viele Durchgänge bis sie das Lernkriterium erreichten. Auch zeigten sie nie eine spontane Transferleistung oder schnelle Anpassung nach dem Erhalt einer Rückmeldung im ersten Transferdurchgang. Dies spricht eher für sukzessives Lernen durch operante Konditionierungsprozesse und weniger für Einsicht über die funktionalen Werkzeugmerkmale. Die Bedeutung der Assoziationsbildung zeigte sich auch darin, dass es den Tieren nicht möglich war, die Lösung im High-Conflict-Transfer neu zu erlernen, wenn sie zuvor eine feste Assoziation zwischen salienten Griffmerkmalen und dem Erfolg eines Werkzeuges bilden konnten. Wurden die Griffe stets vertauscht, gelang das Erlernen der richtigen Strategie mit einem gänzlich neuen Stabset jedoch (Low-Conflict). Schimpansen hingegen zeigten bereits in den ersten Transferdurchgängen beider Bedingungen eine überzufällig gute Leistung. Auch

benötigten sie lange nicht so viele Durchgänge wie Kapuzineraffen und ließen sich kaum von perzeptuell salienten, aber irrelevanten Merkmalen ablenken.

Die Frage nach zugrunde liegenden Lernmechanismen ist auch bei der Interpretation der vorliegenden Studienreihe mit Kleinkindern eine wichtige Frage. Wie bereits in Kapitel 5.3. beschrieben (siehe S. 143) deutet die Analyse der Leistungsverläufe der 18 bis 24 Monate alten Kinder im Training darauf hin, dass das Erlernen der funktionalen Strategie in den jüngeren Altersgruppen eher einem Versuchs-und-Irrtums-Lernen geschuldet sind. Das schnelle Lernen der 22 und 24 Monate alten Kinder könnte hingegen auf rationale Denkprozesse hindeuten, was von der Tatsache gestützt wird, dass kausale Informationen über den Aufgabenmechanismus die Lernleistung bei 24 Monate alten Kindern leicht positiv beeinflusste.

Vermutlich kommen sogar mehrere Strategien innerhalb derselben Aufgabe zur Anwendung (Siegler, 1996, 2007; Kapitel 2.6.5., S. 72). So könnte im ersten Transferdurchgang eine einfache und kostensparende Assoziativstrategie eingesetzt werden (Wahl nach Saliens des mit Erfolg verknüpften Merkmals), die nach einer negativen Rückmeldung verworfen wird. An ihre Stelle könnten dann höhere Denkprozesse treten, die funktionale Merkmale beachten, so dass die richtige Lösung nicht durch Versuch und Irrtum neu erlernt werden muss, sondern durch Nachdenken gefunden wird. Im Anschluss daran muss nicht in jedem Durchgang erneut nachgedacht werden. Der Erfolg kann nun wieder an ein auffälliges Merkmal geknüpft werden, das eine rasche Identifikation des richtigen Werkzeuges erlaubt, was kognitive Ressourcen spart.

Den Ergebnissen der 24 Monate alten Kinder könnte ein solches Vorgehen zugrunde liegen. Sie zeigen in der Transferphase ein äußerst flexibles Verhalten. Die jüngeren Kinder hingegen schienen die funktionale Information (Länge des Stabs) nicht unmittelbar zu nutzen, nachdem sie erfahren hatten, dass eine Wahl nach dem Aussehen des Griffs nicht zur Lösung führte. Vielmehr schienen sie die richtige Lösung in der Transferphase erneut von Grund auf erlernen zu müssen. Ob dies mit Enkodierungs- oder Anwendungsschwierigkeiten zusammenhängt, bleibt vorerst unklar.

Im Hinblick auf die zugrunde liegenden Lernmechanismen könnte auch die Variation der Mittel-Ziel-Komplexität wichtige Einblicke liefern. Ist die Komplexität zu hoch, verlassen sich die Kinder möglicherweise eher auf assoziative Lernprozesse, insbesondere in jüngeren Jahren. Bei äußerst simplen Mittel-Ziel-Relationen hingegen könnte sich auch bereits bei jüngeren Altersgruppen schneller Erfolg und direkter Transfer einstellen, was eher höheren Denkprozessen zugeschrieben werden kann.

7.3. Eigene motorische Erfahrung und Beobachtungslernen

Eine Besonderheit der vorliegenden Studie besteht darin, dass die Kinder die Werkzeuge nicht selbst nutzten, sondern lediglich ein Hilfsmittel für den Versuchsleiter auswählten. Die Studie beschränkte sich damit auf die ersten und letzten Schritte im Problemlöseprozess: die Enkodierung der Problemsituation, die Auswahl eines Hilfsmittels, sowie die Bewertung dieser Wahl. Die Ausführung selbst jedoch oblag dem Versuchsleiter.

Hierin unterscheidet sich das Paradigma deutlich von sonstigen Studien zum Werkzeuggebrauch im Kleinkindalter wie auch im Tierreich, in denen die Probanden stets die Werkzeuge selbst nutzen müssen. Das aktive Nutzen von Werkzeugen könnte für die vorliegende Aufgabe förderlich wie hinderlich sein (siehe Kapitel 4., S. 108, Kapitel 4.3., S. 123). Befunde im Säuglings- und Kleinkindalter deuten einerseits darauf hin, dass aktive Erfahrung mit Objekten die Objektverarbeitung und das Problemlösen positiv beeinflusst (Loucks & Sommerville, 2012; Sommerville et al., 2008, 2005). Gardiner et al. (2012) konnten dagegen zeigen, dass die Beobachtung einer anderen Person in einfachen wie komplexen Werkzeugaufgaben zu besserem Funktionslernen im Alter von zwei und drei Jahren führt als eigene Vorerfahrungen mit den Werkzeugen.

Grundsätzlich gilt es zu bedenken, dass motorische Handlungen überwacht und an die Situation angepasst werden müssen. Je nachdem, wie weit die Kinder in ihrer motorischen Entwicklung sind, erfordert dies kognitive Ressourcen, die dann möglicherweise für die Verarbeitung funktional relevanter Objektattribute fehlen und die Leistung verschlechtern könnten. Ein systematischer Vergleich der Lern- und Transferleistung bei aktiver Anwendung der Werkzeuge im Gegensatz zur Beobachtung und Auswahl eines Hilfsmittels für einen Versuchsleiter könnte Klarheit darüber bringen, ob die aktive Erfahrung mit Werkzeugen im Kleinkindalter die Problemlösung positiv oder negativ beeinflusst.

Hierbei sollte auch die Aufgabenkomplexität (z.B. Anzahl an Mittel-Ziel-Relationen), variiert werden. So scheint denkbar, dass die Komplexität der Aufgabe den Einfluss eigener motorischer Erfahrung mit den Werkzeugen in folgender Weise moderiert: Bei einer simplen Mittel-Ziel-Relation und einer motorisch einfachen Aufgabe ist ein förderlicher Effekt eigener Erfahrung auf die Lern- und Transferleistung zu erwarten. Die Studien von Brown (1990), Chen et al. (1997), sowie Chen und Siegler (2000), in denen sich eine gute Transferleistung und Anpassungsfähigkeit im frühen Kleinkindalter zeigte, nutzten motorisch und kognitiv eher einfache Objektrelationen.

Auch die Exekutiven Funktionen könnten erneut eine wichtige Rolle einnehmen. Wenn angenommen wird, dass das Ausführen eigener Handlungen, vor allem bei komplexen Aufgaben,

kognitive Ressourcen erfordert, so sollten vor allem die Exekutive Funktionen gefordert sein, da sie maßgeblich an der Planung, Ausführung, dem Monitoring und der Modifikation von Handlungen in neuen Situationen beteiligt sind (siehe Kapitel 3.1.1., S. 78). Bei guter Exekutiver Leistungsfähigkeit fallen diese Anforderungen möglicherweise kaum ins Gewicht und es kann vermutlich eher von eigener Erfahrung profitiert werden.

Wenn auch die motorische Komplexität in der vorliegenden Studie äußerst gering war, so könnte die kognitive Aufgabenkomplexität für 18 und 20 Monate alte Kinder dennoch zu hoch gewesen sein und dazu geführt haben, dass nur wenige lernen konnten, ein funktionales Werkzeug auszuwählen, obwohl sie eine Demonstration des funktionalen Werkzeuges gesehen hatten. Zwar waren sie in der Lage, direkt nach der Demonstration den richtigen Stab zu wählen und die Lösung zu imitieren. Im Anschluss daran schienen sie die erhaltene Rückmeldung jedoch nicht nutzen zu können.

Wie bereits zuvor angesprochen handelte es sich um eine Kette mehrerer Mittel-Ziel-Schritte. Zunächst musste ein funktionales Werkzeug ausgewählt werden. Dieses konnte dann in der Apparatur genutzt werden und die Kugel aus dem Rohr stoßen. Anschließend erhielt das Kind die Kugel und konnte sie nun als Hilfsmittel verwenden, um das belohnende Klingelgeräusch in der Effektkiste auszulösen. Für 18 und 20 Monate alte Kinder mag diese Sequenz zu lang gewesen sein, da ihre kognitiven Ressourcen noch begrenzt sind (siehe auch Kapitel 5.3., S. 143). Die vielen Handlungsschritte könnten ihre Aufmerksamkeit von den relevanten Merkmalen der Werkzeuge weggelenkt und die Enkodierung funktionaler Objektattribute verhindert haben. Bei einer einfacheren Mittel-Ziel-Relation hingegen hätten sie möglicherweise erfolgreicher sein können.

7.4. Soziales Lernen

Interessanterweise gelang es auch den 18 und 20 Monate alten Kindern im ersten Trainingsdurchgang überzufällig häufig die richtige Wahl zu treffen. Es war hierbei möglich, die Stabwahl des Versuchsleiters exakt zu kopieren. Auch die Stabanordnung unterschied sich nicht von der Demonstrationsphase. Es könnte daher sein, dass sich in diesem Erfolg auch Einflüsse sozialen Lernens zeigen. Wie in Kapitel 2.5.2. beschrieben (S. 59), spielt das soziale Lernen beim Erlernen von Objektfunktionen eine bedeutende Rolle (siehe auch Gardiner et al., 2012). Wissen über Hilfsmittel wird gar über Generationen hinweg weiter gegeben und modifiziert (Tennie et al., 2009; Tomasello, 1998, 2001, 2010). Hierzu werden auch pädagogische Kontexte hergestellt, die durch ostensive Signale gekennzeichnet sind (Csibra & Gergely, 2009, 2011; siehe Kapitel

4.3., S. 123). Dem Kind wird somit automatisch signalisiert, dass es nun etwas Relevantes lernen wird. In einem solchen Lehr-Lern-Kontext scheint die exakte Nachahmung von zielgerichteten Handlungen eher aufzutreten als in Situationen ohne ostensive Hinweisreize (Király et al., 2013).

In der vorliegenden Studie wurde ein solcher ostensiver Kontext aufgebaut. Der Versuchsleiter lächelte und blickte das Kind an, verhielt sich kontingent und gab dem Kind Rückmeldung zu seinen Handlungen. Um den Einfluss sozialen Lernens zu überprüfen, bedarf es einer Kontrollbedingung ohne soziale Demonstration (non-kommunikative Werkzeugdemonstration) und ohne soziale Rückmeldung. Dies ist vermutlich schwer zu realisieren, da die persönliche Beziehung zum Versuchsleiter stark motivierend wirkt. In Aufgaben zum aktiven Werkzeuggebrauch könnte jedoch eine Baseline-Bedingung umgesetzt werden, in der die spontane Lösungshäufigkeit der Aufgabe ohne jegliche Demonstration evaluiert werden kann.

7.5. Grenzen der Studienreihe und Ausblick

Bei der Interpretation der Studienergebnisse müssen mögliche Stichprobenselektionseffekte berücksichtigt werden. Die beobachteten Ausfallraten aufgrund von Unruhe (17-22%) scheinen in Anbetracht der recht langen Erhebungsdauer (20-45 min.) und des eher geringen aktiven Teils der Aufgabe durchaus vertretbar. Andere Studien mit mehreren Durchgängen verzeichnen vergleichbare und teilweise noch höhere Ausfallquoten (z.B.: Cohen et al., 1999: 23%; Hood, Santos, & Fieselman, 2000: 33%). Wichtig scheint dagegen, dass sich sämtliche Aussagen zu Transferleistungen nur auf Kinder beziehen, die zuvor als „Lerner“ klassifiziert wurden, weil sie zuverlässig gelernt hatten, im Training das funktionale Werkzeug auszuwählen. Dies schränkt die Validität der vorliegenden Befunde insofern ein als sie sich ausschließlich auf jene Kinder stützen, die über eine hinreichende Ausdauer und Lernbereitschaft oder -fähigkeit verfügen. Dieses Problem ist nicht zu vermeiden, da Transfer nur dort untersucht werden kann, wo zuvor auch etwas erlernt wurde.

Zur genaueren Klärung der gefundenen Zusammenhänge zwischen der Transferleistung und exekutiver Prozesse bedarf es der Testung weiterer Altersgruppen. Die hier präsentierten Aufgaben kamen erstmals zum Einsatz und sollten daher einer ausführlichen Überprüfung unterzogen werden.

Idealerweise sollten jede Komponente Exekutiver Funktionen mit mehr als einer Aufgabe erfasst werden. Zudem sollte versucht werden, sowohl heiße als auch kühle Aspekte der Komponenten abzudecken. So könnte man auch die Struktur Exekutiver Funktionen im

Kleinkindalter genauer untersuchen (siehe Kapitel 3.2.4., S. 105, Kapitel 6.3., S. 165). Dies war im Rahmen der Studie aufgrund der Erhebungsdauer nicht umsetzbar. Weitere Studien entsprechender Art sind bereits geplant.

Ebenfalls wünschenswert wäre es, wenn die allgemeine Intelligenzentwicklung der Kinder erfasst werden könnte, um den inkrementellen Erklärungswert Exekutiver Funktionen schätzen zu können. Die allgemeine Intelligenz könnte vor der Ausdifferenzierung dieser Regulationsprozesse (siehe Kapitel 3.1.3., S. 84) einen ebenso guten Prädiktor für die Transferfähigkeit darstellen. Dann wäre es insbesondere interessant zu untersuchen, ob sich dies im Entwicklungsverlauf ändert. Problematisch scheint dabei allerdings, dass für Kinder der interessierenden Altersgruppe noch kein hinreichend valides und reliables standardisiertes Instrument zur Messung der Intelligenz zur Verfügung steht¹⁰.

Eine besondere Stärke der vorliegenden Studie ist die mikrogenetische Vorgehensweise. Ohne eine Analyse auf der Ebene einzelner Durchgänge wäre die flexible Anpassungsfähigkeit 24 Monate alter Kinder nicht sichtbar geworden. Auch in weiteren Studien zur Aneignung von Wissen und zum Wissenstransfer sollte diese Analysemethode angewandt werden. Sie ermöglicht uns ein vertieftes Verständnis für Lernprozesse (Chen & Siegler, 2000; Siegler, Adolph, & Lemaire, 1996; Siegler, 2007). Dies gilt für Forschung zur Entwicklung im Kleinkindalter ebenso wie für Forschung mit anderen Spezies.

Eine genaue Analyse sollte jedoch nicht nur innerhalb einer Aufgabe erfolgen. Auch sollten die verwendeten Paradigmen zur Erforschung des Wissenstransfers wie auch der Exekutiven Funktionen bezüglich ihrer kognitiven Anforderungen genau miteinander verglichen werden. An vielen Stellen wurde bereits deutlich, dass der Kontext und die Aufgabenkomplexität entscheidend zu den Ergebnissen beitragen können (Király et al., 2013; Madole et al., 1993; Munakata, 2001; Perone & Oakes, 2006; Smith & Thelen, 2003; Smith, 2005; Thelen, 2000).

Verhalten muss daher immer im Kontext interpretiert werden. Dies gilt nicht nur für ontogenetische Untersuchungen. Auch Interspeziesvergleiche sollten immer vor dem Hintergrund der jeweiligen Lebensumstände und Untersuchungskontexte, interpretiert werden. So tritt Werkzeuggebrauch nicht unter allen Umständen auf. Selbst innerhalb einer Spezies kann es in manchen Kontexten zu flexiblem Werkzeuggebrauch kommen, während dieses Verhalten in

¹⁰ In der vorliegenden Studie wurde versucht, neben den Exekutiven Funktionen zu einem zweiten Erhebungstermin auch den allgemeinen Entwicklungsstand der Kinder mit Hilfe der neuen deutschen Version der Bayley-III-Skalen (Reuner, Rosenkranz, & Heyde, in preparation) zu evaluieren. Leider dauerte diese Erhebung in den meisten Fällen länger als 90 min. und musste häufig abgebrochen werden. Daher war es leider nicht möglich, die Daten für die vorliegenden Analysen zu nutzen.

etwas anderer Umgebung nicht auftritt (Christophe Boesch, 2013; Ottoni & Izar, 2008; Visalberghi, Frigaszy, Izar, & Ottoni, 2005; Visalberghi & Frigaszy, 2013).

Wir leben nicht in einem Vakuum. Unsere Umgebung und die damit verbundene Situationskomplexität sind vermutlich entscheidend für die Wahl bestimmter Strategien und für das Auftreten bestimmter Verhaltensweisen. Die Kosten, seien sie kognitiv, motorisch oder auch sozial, bestimmen möglicherweise über die beachteten Situationsmerkmale und damit einhergehend über assoziatives Lernen, Reasoning und das Profitieren von der Beobachtung anderer und den eigenen Handlungen mit Objekten.

Literatur

- Adachi, I., Anderson, J. R., & Fujita, K. (2011). Reverse-reward learning in squirrel monkeys (*Saimiri sciureus*): retesting after 5 years, and assessment on qualitative transfer. *Journal of Comparative Psychology*, *125*(1), 84–90. doi:10.1037/a0021041
- Addessi, E., Bellagamba, F., Delfino, A., De Petrillo, F., Focaroli, V., Macchitella, L., ... Paglieri, F. (2014). Waiting by mistake: symbolic representation of rewards modulates intertemporal choice in capuchin monkeys, preschool children and adult humans. *Cognition*, *130*(3), 428–441. doi:10.1016/j.cognition.2013.11.019
- Addessi, E., Paglieri, F., & Focaroli, V. (2011). The ecological rationality of delay tolerance: insights from capuchin monkeys. *Cognition*, *119*(1), 142–147. doi:10.1016/j.cognition.2010.10.021
- Addessi, E., & Rossi, S. (2011). Tokens improve capuchin performance in the reverse-reward contingency task. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *278*(1707), 849–854. doi:10.1098/rspb.2010.1602
- Ahmed, A., & Ruffman, T. (1998). Why do infants make A not B errors in a search task, yet show memory for the location of hidden objects in a nonsearch task? *Developmental Psychology*, *34*(3), 441–453. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9597355>
- Akshoomoff, N., Newman, E., Thompson, W. K., McCabe, C., Bloss, C. S., Chang, L., ... Jernigan, T. L. (2014). The NIH Toolbox Cognition Battery: results from a large normative developmental sample (PING). *Neuropsychology*, *28*(1), 1–10. doi:10.1037/neu0000001
- Alcock, J. (1972). The evolution of the use of tools by feeding animals. *Evolution*, *26*(3), 464–473. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/2407020>
- Alvarez, J. A., & Emory, E. (2006). Executive function and the frontal lobes: a meta-analytic review. *Neuropsychology Review*, *16*(1), 17–42. doi:10.1007/s11065-006-9002-x
- Amici, F., Aureli, F., & Call, J. (2010). Monkeys and apes: are their cognitive skills really so different? *American Journal of Physical Anthropology*, *143*(2), 188–197. doi:10.1002/ajpa.21305
- Apperly, I. A., & Carroll, D. J. (2009). How do symbols affect 3- to 4-year-olds' executive function? Evidence from a reverse-contingency task. *Developmental Science*, *12*(6), 1070–1082. doi:10.1111/j.1467-7687.2009.00856.x
- Baddeley, A. D. (1992). Working Memory. *Science*, *255*(5044), 556–559. doi:10.1126/science.1736359
- Baddeley, A. D. (2003). Working memory: looking back and looking forward. *Nature Reviews: Neuroscience*, *4*(10), 829–839. doi:10.1038/nrn1201
- Baddeley, A. D. (2012). Working memory: theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*, *63*, 1–29. doi:10.1146/annurev-psych-120710-100422

- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (pp. 47–89). New York: Academic Press.
- Baillargeon, R. (1993). The object concept revisited: New directions in the investigation of infants' physical knowledge. In C. E. Granrud (Ed.), *Visual perception and cognition in infancy* (pp. 265–315). Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Baillargeon, R., & Graber, M. (1988). Evidence of Location Memory in 8-Month-Old Infants in a Nonsearch AB Task. *Developmental Psychology*, *24*(4), 502–511. doi:10.1037/0012-1649.24.4.502
- Baker, R. K., & Keen, R. (March, 2007). *Tool Use by Young Children: Choosing the Right Tool for the Task*. Poster presented at the Biennial Meeting of the Society for Research in Child Development. Boston, MA.
- Ball, W. A. (1973). *The perception of causality in the infant*. Poster presented at the Biannual meeting of the Society for Research in Child Development. Philadelphia, PA.
- Barkley, R. A. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological Bulletin*, *121*(1), 65–94. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9000892>
- Barkley, R. A. (2012). *Executive Functions*. New York: The Guilford Press. Retrieved from <http://www.continuingcourses.net/active/courses/course069.php>
- Barkley, R. A. (2013). Executive Functioning and ADHD: Nature and Assessment. Retrieved May 12, 2014, from <http://www.continuingcourses.net/active/courses/course069.php>
- Barr, R., Dowden, A., & Hayne, H. (1996). Developmental Changes in Deferred Imitation by 6- to 9-Month-Old Infants. *Infant Behavior and Development*, *19*, 159–170. doi:10.1016/S0163-6383(96)90015-6
- Barrett, T. M., Davis, E. F., & Needham, A. (2007). Learning about tools in infancy. *Developmental Psychology*, *43*(2), 352–68. doi:10.1037/0012-1649.43.2.352
- Barsalou, L. W. (1999). Perceptual symbol systems. *The Behavioral and Brain Sciences*, *22*(4), 577–609. Retrieved from <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1693222&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
- Barsalou, L. W. (2008). Grounded Cognition. *Annual Review of Psychology*, *59*, 1–21. doi:10.1146/annurev.psych.59.103006.093639
- Bates, E., Carlson-Luden, V., & Bretherton, I. (1980). Perceptual aspects of tool using in infancy. *Infant Behavior and Development*, *3*, 127–140. doi:10.1016/S0163-6383(80)80017-8
- Bauer, P. J., Schwade, J. A., Saeger Wewerka, S., & Delaney, K. (1999). Planning ahead: goal-directed problem solving by 2-year-olds. *Developmental Psychology*, *35*(5), 1321–1337. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10493657>

- Baumgartner, H. A., & Oakes, L. M. (2011). Infants' Developing Sensitivity to Object Function: Attention to Features and Feature Correlations. *Journal of Cognition and Development, 12*(3), 275–298. doi:10.1080/15248372.2010.542217
- Bechara, A., Damasio, A. R., Damasio, H., & Anderson, S. W. (1994). Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex. *Cognition, 50*, 7–15. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8039375>
- Bechtel, S. (2011). *Analogiebildung im Kleinkindalter: der Einfluss von perzeptuellen, funktionalen und kausalen Informationen auf das Lösen einer Tool-Use-Aufgabe*. Diplomarbeit, Universität Heidelberg.
- Bechtel, S., Jeschonek, S., & Pauen, S. (2013). How 24-month-olds form and transfer knowledge about tools: The role of perceptual, functional, causal, and feedback information. *Journal of Experimental Child Psychology, 115*(1), 163–179. doi:10.1016/j.jecp.2012.12.004
- Bechtel, S., Sabbatini, G., Truppa, V., Hribar, A., Jeschonek, S., Gambetta, B., Call, J., Visalberghi, E., & Pauen, S. (July, 2013). *How toddlers (Homo sapiens), chimpanzees (Pan troglodytes) and capuchin monkeys (Cebus apella) acquire and transfer knowledge about functional tool properties*. Poster presented at the 3rd Transfer of Knowledge Conference of CompCog. Vienna, Austria.
- Beck, B. B. (1980). *Animal Tool Behaviour: The Use and Manufacture of Tools by Animals*. New York: Garland STPM Pub.
- Bell, M. A., & Adams, S. E. (1999). Comparable Performance on Looking and Reaching Versions of the A-not-B Task at 8 Months of Age. *Infant Behavior & Development, 22*(2), 221–235. Retrieved from https://www.psyc.vt.edu/sites/default/files/inline_files/Page354/bell_adams_1999.pdf
- Bell, M. A., & Fox, N. A. (1992). The Relations between Frontal Brain Electrical Activity and Cognitive Development during Infancy. *Child Development, 63*(5), 1142–1163. Retrieved from http://www.psyc.vt.edu/sites/default/files/inline_files/Page354/bell_fox_1992.pdf
- Bentley-Condit, V. K., & Smith, E. O. (2010). Animal tool use: current definitions and an updated comprehensive catalog. *Behaviour, 147*(2), 185–221. doi:10.1163/000579509X12512865686555
- Berger, S. E., Adolph, K. E., & Lobo, S. A. (2005). Out of the toolbox: toddlers differentiate wobbly and wooden handrails. *Child Development, 76*(6), 1294–307. doi:10.1111/j.1467-8624.2005.00851.x
- Bernier, A., Carlson, S. M., & Whipple, N. (2010). From external regulation to self-regulation: early parenting precursors of young children's executive functioning. *Child Development, 81*(1), 326–339. doi:10.1111/j.1467-8624.2009.01397.x
- Best, J. R., & Miller, P. H. (2010). A developmental perspective on executive function. *Child Development, 81*(6), 1641–1660. doi:10.1111/j.1467-8624.2010.01499.x
- Bird, C. D., & Emery, N. J. (2009). Rooks use stones to raise the water level to reach a floating worm. *Current Biology, 19*(16), 1410–1414. doi:10.1016/j.cub.2009.07.033

- Bluff, L. A., Weir, A. A. S., Rutz, C., Wimpenny, J. H., & Kacelnik, A. (2007). Tool-related Cognition in New Caledonian Crows. *Comparative Cognition & Behavior Reviews*, 2, 1–25. Retrieved from http://comparative-cognition-and-behavior-reviews.org/past_vols.html
- Boesch, C. (2013). Ecology and cognition of tool use in chimpanzees. In C. M. Sanz, J. Call, & C. Boesch (Eds.), *Tool Use in Animals* (pp. 21–47). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Boesch, C., & Boesch, H. (1990). Tool use and tool making in wild chimpanzees. *Folia Primatologica*, 54, 86–99. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2157651>
- Bonawitz, E. B., Ferranti, D., Saxe, R., Gopnik, A., Meltzoff, A. N., Woodward, J., & Schulz, L. E. (2010). Just do it? Investigating the gap between prediction and action in toddlers' causal inferences. *Cognition*, 115(1), 104–117. doi:10.1016/j.cognition.2009.12.001
- Booth, A. E., & Waxman, S. (2002). Object names and object functions serve as cues to categories for infants. *Developmental Psychology*, 38(6), 948–957. doi:10.1037//0012-1649.38.6.948
- Bourgeois, K. S., Khawar, A. W., Neal, S. A., & Lockman, J. J. (2007). Infant Manual Exploration of Objects, Surfaces, and Their Interrelations. *Infancy*, 8(3), 233–252. doi:10.1207/s15327078in0803_3
- Boysen, S. T., Berntson, G. G., & Mukobi, K. L. (2001). Size matters: impact of item size and quantity on array choice by chimpanzees (*Pan troglodytes*). *Journal of Comparative Psychology*, 115(1), 106–110. doi:10.1037/0735-7036.115.1.106
- Bridgett, D. J., Oddi, K. B., Laake, L. M., Murdock, K. W., & Bachmann, M. N. (2013). Integrating and differentiating aspects of self-regulation: effortful control, executive functioning, and links to negative affectivity. *Emotion*, 13(1), 47–63. doi:10.1037/a0029536
- Brown, A. (1990). Domain-specific principles affect learning and transfer in children. *Cognitive Science*, 14(1), 107–133. doi:10.1016/0364-0213(90)90028-U
- Buchanan, D. W., & Sobel, D. M. (2011). Mechanism-based causal reasoning in young children. *Child Development*, 82(6), 2053–2066. doi:10.1111/j.1467-8624.2011.01646.x
- Bullock, M. J., & Opfer, J. E. (2009). What makes relational reasoning smart? Revisiting the perceptual-to-relational shift in the development of generalization. *Developmental Science*, 12(1), 114–122. doi:10.1111/j.1467-7687.2008.00738.x
- Bullock, M., Gelman, R., & Baillargeon, R. (1982). The Developmental of Causal Reasoning. In W. J. Friedman (Ed.), *The Developmental Psychology of Time* (pp. 209–254). New York: Academic Press.
- Buttelmann, D., Carpenter, M., Call, J., & Tomasello, M. (2008). Rational tool use and tool choice in human infants and great apes. *Child Development*, 79(3), 609–26. doi:10.1111/j.1467-8624.2008.01146.x
- Butterworth, G., & Hopkins, B. (1988). Hand-mouth coordination in the new-born baby. *British Journal of Developmental Psychology*, 6(4), 303–314. doi:10.1111/j.2044-835X.1988.tb01103.x

- Büttner, P. (2009). Kausalität – Die Wahrnehmung von Ursache und Wirkung. In *MMI Interaktiv, Sonderausgabe FJS 2009* (pp. 1–7). Berlin.
- Cardinali, L., Jacobs, S., Brozzoli, C., Frassinetti, F., Roy, A. C., & Farnè, A. (2012). Grab an object with a tool and change your body: tool-use-dependent changes of body representation for action. *Experimental Brain Research*, *218*(2), 259–271. doi:10.1007/s00221-012-3028-5
- Carey, S. (2009). *The origin of concepts*. Oxford: Oxford University Press.
- 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* (pp. 169–200). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Carey, S., & Spelke, E. S. (1996). Science and Core Knowledge. *Philosophy of Science*, *63*(4), 515. doi:10.1086/289971
- Carlson, S. M. (2005). Developmentally sensitive measures of executive function in preschool children. *Developmental Neuropsychology*, *28*(2), 595–616. doi:10.1207/s15326942dn2802_3
- Carlson, S. M., & Beck, D. M. (2009). Symbols as tools in the development of executive function. In *Private speech, executive functioning, and the development of verbal self-regulation* (pp. 163–175). New York: Cambridge University Press.
- Carlson, S. M., Davis, A. C., & Leach, J. G. (2005). Less is more: executive function and symbolic representation in preschool children. *Psychological Science*, *16*(8), 609–616. doi:10.1111/j.1467-9280.2005.01583.x
- 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), 1105–1022. doi:10.1037/0012-1649.40.6.1105
- Carlson, S. M., & Moses, L. J. (2001). Individual Differences in Inhibitory Control and Children's Theory of Mind. *Child Development*, *72*(4), 1032–1053. doi:10.1111/1467-8624.00333
- Carlson, S. M., Moses, L. J., & Claxton, L. J. (2004). Individual differences in executive functioning and theory of mind: An investigation of inhibitory control and planning ability. *Journal of Experimental Child Psychology*, *87*(4), 299–319. doi:10.1016/j.jecp.2004.01.002
- Carlson, S. M., Zelazo, P. D., & Faja, S. (2013). Executive Function. In P. D. Zelazo (Ed.), *The Oxford Handbook of Developmental Psychology: Vol. 1 Body and Mind* (pp. 706–743). New York: Oxford University Press.
- Carlyle, T. (1838). *Sartor Resartus. Leben und Meinungen des Herrn Teufelsdröckh*. London: Saunders and Otley.
- Casler, K., Hoffman, K., & Eshleman, A. (in press). Do Adults Make Scale Errors Too? How Function Sometimes Trumps Size. *Journal of Experimental Psychology: General*.
- Casler, K., & Kelemen, D. (2005). Young children's rapid learning about artifacts. *Developmental Science*, *8*(6), 472–480. doi:10.1111/j.1467-7687.2005.00438.x

- Casler, K., & Kelemen, D. (2007). Reasoning about artifacts at 24 months: the developing teleo-functional stance. *Cognition*, *103*(1), 120–130. doi:10.1016/j.cognition.2006.02.006
- Casler, K., Terziyan, T., & Greene, K. (2009). Toddlers view artifact function normatively. *Cognitive Development*, *24*(3), 240–247. doi:10.1016/j.cogdev.2009.03.005
- Chen, Z., Sanchez, R. P., & Campbell, T. (1997). From beyond to within their grasp: the rudiments of analogical problem solving in 10- and 13-month-olds. *Developmental Psychology*, *33*(5), 790–801. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9300212>
- Chen, Z., & Siegler, R. S. (2000). Across the Great Divide: Bridging the Gap Between Understanding of Toddlers' and Older Children's Thinking. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, *65*(2), v–96. doi:10.1111/1540-5834.00072
- Cianchetti, C., Corona, S., Foscoliano, M., Contu, D., & Sannio-Fancello, G. (2007). Modified Wisconsin Card Sorting Test (MCST, MWCST): normative data in children 4-13 years old, according to classical and new types of scoring. *The Clinical Neuropsychologist*, *21*(3), 456–78. doi:10.1080/13854040600629766
- Claxton, L. J., Keen, R., & McCarty, M. E. (2003). Evidence of motor planning in infant reaching behavior. *Psychological Science*, *14*(4), 354–356. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12807409>
- Cohen, L. B., Amsel, G., Redford, M. A., & Casasola, M. (1998). The development of infant causal perception. In A. Slater (Ed.), *Perceptual Development: Visual, Auditory and Speech Perception in Infancy* (pp. 167–209). Hove, UK: Psychology Press Ltd.
- Cohen, L. B., & Oakes, L. M. (1993). How infants perceive a simple causal event. *Developmental Psychology*, *29*(3), 421–433. doi:10.1037//0012-1649.29.3.421
- Cohen, L. B., Rundell, L. J., Spellman, B. A., & Cashon, C. H. (1999). Infants' Perception of Causal Chains. *Psychological Science*, *10*(5), 412–418. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/40063456>
- Connolly, K., & Dalgleish, M. (1989). The emergence of a tool-using skill in infancy. *Developmental Psychology*, *25*(6), 894–912. doi:10.1037//0012-1649.25.6.894
- Cox, R. F. A., & Smitsman, A. W. (2006). Action planning in young children's tool use. *Developmental Science*, *9*(6), 628–641. doi:10.1111/j.1467-7687.2006.00541.x
- Cragg, L., & Nation, K. (2007). Self-ordered pointing as a test of working memory in typically developing children. *Memory*, *15*(5), 526–535. doi:10.1080/09658210701390750
- Crisafi, M. A., & Brown, A. L. (1986). Analogical transfer in very young children: combining two separately learned solutions to reach a goal. *Child Development*, *57*(4), 953–968. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3757611>
- Csibra, G., & Gergely, G. (2007). “Obsessed with goals”: functions and mechanisms of teleological interpretation of actions in humans. *Acta Psychologica*, *124*(1), 60–78. doi:10.1016/j.actpsy.2006.09.007

- Csibra, G., & Gergely, G. (2009). Natural pedagogy. *Trends in Cognitive Sciences*, *13*(4), 148–153. doi:10.1016/j.tics.2009.01.005
- Csibra, G., & Gergely, G. (2011). Natural pedagogy as evolutionary adaptation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, *366*(1567), 1149–1157. doi:10.1098/rstb.2010.0319
- Cutting, N., Apperly, I. A., & Beck, S. R. (2011). Why do children lack the flexibility to innovate tools? *Journal of Experimental Child Psychology*, *109*(4), 497–511. doi:10.1016/j.jecp.2011.02.012
- Daum, M., Prinz, W., & Aschersleben, G. (2009). Means-End Behavior in Young Infants: The Interplay of Action Perception and Action Production. *Infancy*, *14*(6), 613–640. doi:10.1080/15250000903263965
- Daum, M., Prinz, W., & Aschersleben, G. (2011). Perception and production of object-related grasping in 6-month-olds. *Journal of Experimental Child Psychology*, *108*, 810–818. doi:10.1016/j.jecp.2010.10.003
- De Waal, F. B. M. (2012). *Social tool use by chimps*. [Facebook post]. Retrieved January 01, 2014, from <https://www.facebook.com/video/video.php?v=1010014010677201727>
- Defeyter, M. A., & German, T. P. (2003). Acquiring an understanding of design: evidence from children's insight problem solving. *Cognition*, *89*(2), 133–155. doi:10.1016/S0010-0277(03)00098-2
- Dewsbury, D. A. (2013). John B. Watson's Early Work and Comparative Psychology. *Mexican Journal of Behavior Analysis*, *39*(2), 10–33. Retrieved from <http://rmac-mx.org/wp-content/uploads/2014/01/02.-ARMAC-vol.-39-2.pdf>
- Diamond, A. (1985). Development of the Ability to Use Recall to Guide Action, as Indicated by Infants' Performance on AB. *Child Development*, *56*(4), 868. doi:10.2307/1130099
- Diamond, A. (1990a). Developmental time course in human infants and infant monkeys, and the neural bases of, inhibitory control in reaching. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *608*(d), 637–69; discussion 669–76. doi:10.1111/j.1749-6632.1990.tb48913.x
- Diamond, A. (1990b). The development and neural bases of memory functions as indexed by the AB and delayed response tasks in human infants and infant monkeys. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *608*(d), 267–309; discussion 309–17. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2127511>
- Diamond, A. (2002). Normal development of prefrontal cortex from birth to young adulthood: Cognitive functions, anatomy, and biochemistry. In D. T. Stuss & R. Knight (Eds.), *Principles of frontal lobe function* (pp. 466–503). New York: Oxford University Press.
- Diamond, A. (2006). The Early Development of Executive Functions. In E. Bialystok & F. I. M. Craik (Eds.), *Lifespan Cognition: Mechanisms of Change* (pp. 70–95). Oxford: Oxford University Press.
- Diamond, A. (2012). Activities and Programs That Improve Children's Executive Functions. *Current Directions in Psychological Science*, *21*(5), 335–341. doi:10.1177/0963721412453722

- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, *64*, 135–168. doi:10.1146/annurev-psych-113011-143750
- Diamond, A., Carlson, S. M., & Beck, D. M. (2005). Preschool children's performance in task switching on the dimensional change card sort task: separating the dimensions aids the ability to switch. *Developmental Neuropsychology*, *28*(2), 689–729. doi:10.1207/s15326942dn2802_7
- Diamond, A., & Doar, B. (1989). The performance of human infants on a measure of frontal cortex function, the delayed response task. *Developmental Psychobiology*, *22*(3), 271–294. doi:10.1002/dev.420220307
- Diamond, A., & Gilbert, J. (1989). Development as progressive inhibitory control of action: retrieval of a contiguous object. *Cognitive Development*, *4*(3), 223–249. doi:10.1016/0885-2014(89)90007-5
- Diamond, A., & Lee, K. (2011). Interventions shown to aid executive function development in children 4 to 12 years old. *Science*, *333*(6045), 959–964. doi:10.1126/science.1204529
- Diamond, A., Prevor, M. B., Callender, G., & Druin, D. P. (1997). Prefrontal Cortex Cognitive Deficits in Children Treated Early and Continuously for PKU. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, *62*(4), 1–206. doi:10.2307/1166208
- Drechsler, R. (2007). Exekutive Funktionen: Übersicht und Taxonomie. *Zeitschrift Für Neuropsychologie*, *18*(3), 233–248. doi:10.1024/1016-264X.18.3.233
- Drumme, A. B., & Newcombe, N. S. (2002). Developmental changes in source memory. *Developmental Science*, *5*(4), 502–513. doi:10.1111/1467-7687.00243
- Dulisch, F. (2014). *Demonstration von Kausalillusionen*. Retrieved March 18, 2014, from <http://www.personalbeurteilung.de/wirtschaft/attribution1c.htm>
- Duncan, J. (1986). Disorganisation of behaviour after frontal lobe damage. *Cognitive Neuropsychology*, *3*(3), 271–290. doi:10.1080/02643298608253360
- Duncker, K. (1935). *Die Psychologie des produktiven Denkens*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Eimas, P. D., & Quinn, P. C. (1994). Studies on the formation of perceptually based basic-level categories in young infants. *Child Development*, *65*(3), 903–917. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8045176>
- Eisenberg, N., Smith, C., & Spinrad, T. L. (2011). Effortful Control – Relations with Emotion Regulation, Adjustment, and Socialization in Childhood. In K. Vohs & R. F. Baumeister (Eds.), *Handbook of Self-Regulation* (pp. 263–283). New York: Guilford Press.
- Eisler, R. (1904). *Wörterbuch der philosophischen Begriffe*. Retrieved 01 April, 2014 from <http://www.textlog.de/7556.html>
- Ellis, S., & Siegler, R. S. (1997). Planning as a Strategy Choice, or Why Don't Children Plan When They Should? In S. L. Friedman & E. K. Scholnick (Eds.), *the Developmental Psychology of Planning*. (pp. 183–208). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

- Elsner, B., & Aschersleben, G. (2003). Do I get what you get? Learning about the effects of self-performed and observed actions in infancy. *Consciousness and Cognition*, *12*(4), 732–751. doi:10.1016/S1053-8100(03)00073-4
- Elsner, B., & Pauen, S. (2007). Social learning in artifact function in 12- and 15-month-olds. *European Journal of Developmental Psychology*, *4*(1), 80–99. doi:10.1080/17405620601051220
- Elsner, B., Pauen, S., & Jeschonek, S. (2006). Physiological and behavioral parameters of infants' categorization: Changes in heart rate and duration of examining across trials. *Developmental Science*, *9*(6), 551–556. doi:10.1111/j.1467-7687.2006.00532.x
- Elsner, B., & Schellhas, B. (2012). The Acquisition of Flexible Tool Use in Preschoolers. *Zeitschrift Für Psychologie*, *220*(1), 44–49. doi:10.1027/2151-2604/a000090
- Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics*, *16*(1), 143–149. doi:10.3758/BF03203267
- Espy, K. A., Kaufmann, P. M., Glisky, M., & McDiarmid, M. D. (2001). New procedures to assess executive functions in preschool children. *The Clinical Neuropsychologist*, *15*(1), 46–58. doi:10.1076/clin.15.1.46.1908
- Espy, K. A., Kaufmann, P. M., McDiarmid, M. D., & Glisky, M. (1999). Executive functioning in preschool children: performance on A-not-B and other delayed response format tasks. *Brain and Cognition*, *41*(2), 178–199. doi:10.1006/brcg.1999.1117
- Esseily, R., Nadel, J., & Fagard, J. (2010). Object retrieval through observational learning in 8- to 18-month-old infants. *Infant Behavior & Development*, *33*(4), 695–699. doi:10.1016/j.infbeh.2010.07.017
- Evans, T. a, Beran, M. J., Paglieri, F., & Addessi, E. (2012). Delaying gratification for food and tokens in capuchin monkeys (*Cebus apella*) and chimpanzees (*Pan troglodytes*): when quantity is salient, symbolic stimuli do not improve performance. *Animal Cognition*, *15*(4), 539–48. doi:10.1007/s10071-012-0482-1
- Fagan, J. F. (1970). Memory in the Infant. *Journal of Experimental Child Psychology*, *9*, 217–226. doi:10.1016/0022-0965(70)90087-1
- Fagard, J., & Lockman, J. J. (2010). Change in imitation for object manipulation between 10 and 12 months of age. *Developmental Psychobiology*, *52*(1), 90–9. doi:10.1002/dev.20416
- Falkenhainer, B., Forbus, K. D., & Gentner, D. (1989). The structure-mapping engine: Algorithm and examples. *Artificial Intelligence*, *41*(1), 1–63. doi:10.1016/0004-3702(89)90077-5
- Farnè, A., Iriki, A., & Ládavas, E. (2005). Shaping multisensory action-space with tools: evidence from patients with cross-modal extinction. *Neuropsychologia*, *43*(2), 238–248. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2004.11.010
- Farrell Pagulayan, K., Busch, R. M., Medina, K. L., Bartok, J. a, & Krikorian, R. (2006). Developmental normative data for the Corsi Block-tapping task. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *28*(6), 1043–1052. doi:10.1080/13803390500350977

- Fernyhough, C. (2010). Vygotsky, Luria, and the Social Brain. In B. Sokol, U. Müller, J. Carpendale, A. Young, & G. Iarocci (Eds.), *Self- and Social- Regulation: Exploring the Relations between Social Interaction, Social Cognition, and the Development of Executive Functions* (pp. 56–79). Oxford University Press.
- Flynn, E., & Smith, K. (2012). Investigating the Mechanisms of Cultural Acquisition. *Social Psychology, 43*(4), 185–195. doi:10.1027/1864-9335/a000119
- Flynn, E., & Whiten, A. (2010). Studying children’s social learning experimentally “in the wild”. *Learning & Behavior, 38*(3), 284–96. doi:10.3758/LB.38.3.284
- Flynn, E., & Whiten, A. (2013). Dissecting children’s observational learning of complex actions through selective video displays. *Journal of Experimental Child Psychology, 116*(2), 247–263. doi:10.1016/j.jecp.2013.06.001
- Fodor, J. A. (1998). *Concepts - Where Cognitive Science Went Wrong*. (M. Davies, J. Higginbotham, J. O’Keefe, C. Peacocke, & K. Plunkett, Eds.). Oxford: Oxford University Press.
- Forbus, K. D., Gentner, D., & Law, K. (1994). *MAC/FAC: A model of similarity-based retrieval* (pp. 1–58). Evanston, IL.
- Fox, M. D., Snyder, A. Z., Vincent, J. L., Corbetta, M., Van Essen, D. C., & Raichle, M. E. (2005). The human brain is intrinsically organized into dynamic, anticorrelated functional networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 102*(27), 9673–9678. doi:10.1073/pnas.0504136102
- Friedman, N. P., Miyake, A., Robinson, J. L., & Hewitt, J. K. (2011). Developmental trajectories in toddlers’ self-restraint predict individual differences in executive functions 14 years later: A behavioral genetic analysis. *Developmental Psychology, 47*(5), 1410–1430. doi:10.1037/a0023750
- Friedman, N. P., Miyake, A., Young, S. E., Defries, J. C., Corley, R. P., & Hewitt, J. K. (2008). Individual differences in executive functions are almost entirely genetic in origin. *Journal of Experimental Psychology. General, 137*(2), 201–225. doi:10.1037/0096-3445.137.2.201
- Frye, D., Zelazo, P. D., & Burack, J. A. (1998). Cognitive Complexity and Control: I. Theory of Mind in Typical and Atypical Development. *Current Directions in Psychological Science, 7*(4), 116–121. doi:10.1111/1467-8721.ep10774754.
- Fukushima, J., Hatta, T., & Fukushima, K. (2000). Development of voluntary control of saccadic eye movements. I. Age-related changes in normal children. *Brain & Development, 22*(3), 173–180. doi:10.1016/S0387-7604(00)00101-7
- Funke, J. (2011). Problemlösen. In K.-P. Horn, H. Kemnitz, W. Marotzki, & U. Sandfuchs (Eds.), *Klinkhardt Lexikon Erziehungswissenschaften* (pp. 31–32). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Fuster, D. (2008). The Relation between Executive Functioning and Emotion Regulation in Young Children. *The Penn State McNair Journal, 15*, 35–53. Retrieved from http://forms.gradsch.psu.edu/diversity/mcnair/mcnair_jrnl2008/files/Fuster.pdf

- Futó, J., Téglás, E., Csibra, G., & Gergely, G. (2010). Communicative function demonstration induces kind-based artifact representation in preverbal infants. *Cognition*, *117*(1), 1–8. doi:10.1016/j.cognition.2010.06.003
- Gardiner, A. K., Bjorklund, D. F., Greif, M. L., & Gray, S. K. (2012). Choosing and using tools: Prior experience and task difficulty influence preschoolers' tool-use strategies. *Cognitive Development*, *27*(3), 240–254. doi:10.1016/j.cogdev.2012.05.001
- Garon, N., Bryson, S. E., & Smith, I. M. (2008). Executive Function in Preschoolers: A Review Using an Integrative Framework. *Psychological Bulletin*, *134*(1), 31–60. doi:10.1037/0033-2909.134.1.31
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B., & Wearing, H. (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Developmental Psychology*, *40*(2), 177–190. doi:10.1037/0012-1649.40.2.177
- Gavin, E. (1972). The causal issue in empirical psychology from Hume to the present, with emphasis upon the work of Michotte. *Journal of the History of the Behavioral Sciences*, *8*(3), 302–320. doi:10.1002/1520-6696(197207)
- Gelman, R., Bullock, M., & Meck, E. (1980). Preschoolers' Understanding of Simple Object Transformations. *Child Development*, *51*, 691–699. doi:10.2307/1129454
- Gentner, D. (1983). Structure-mapping: A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, *7*(2), 155–170. doi:10.1016/S0364-0213(83)80009-3
- Gentner, D. (1988). Metaphor as Structure Mapping: The Relational Shift. *Child Development*, *39*, 47–59. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/1130388>
- Gentner, D., & Colhoun, J. (2008). Analogical processes. In A. von Müller & E. Pöppel (Eds.), *On Thinking: Vol. 2 Towards a Theory of Thinking* (Vol. 2). Berlin/Heidelberg: Springer.
- Gentner, D., & Markman, A. B. (1997). Structure mapping in analogy and similarity. *American Psychologist*, *52*(1), 45–56. doi:10.1037//0003-066X.52.1.45
- Gentner, D., & Rattermann, M. J. O. (1991). Language and the career of similarity. In S. A. Gelman & J. P. Byrnes (Eds.), *Perspectives on thought and language: Interrelations in development* (pp. 225–277). London: Cambridge University Press.
- Gentner, D., & Toupin, C. (1986). Systematicity and Surface Similarity in the Development of Analogy. *Cognitive Science*, *10*, 277–300. doi:10.1016/S0364-0213(86)80019-2
- Gergely, G., Bekkering, H., & Király, I. (2002). Rational imitation in preverbal infants. *Nature*, *415*(6873), 755. doi:10.1038/415755a
- Gergely, G., & Csibra, G. (2003). Teleological reasoning in infancy: the naïve theory of rational action. *Trends in Cognitive Sciences*, *7*(7), 287–292. doi:10.1016/S1364-6613(03)00128-1
- Gergely, G., & Csibra, G. (2005). The social construction of the cultural mind: Imitative learning as a mechanism of human pedagogy. *Interaction Studies*, *6*(3), 463–481. doi:10.1075/is.6.3.10ger

- Gergely, G., Eged, K., & Király, I. (2007). On pedagogy. *Developmental Science*, *10*(1), 139–46. doi:10.1111/j.1467-7687.2007.00576.x
- Gerson, S. a, & Woodward, A. L. (2013). The goal trumps the means: Highlighting goals is more beneficial than highlighting means in means-end training. *Infancy*, *18*(2), 289–302. doi:10.1111/j.1532-7078.2012.00112.x
- Gerstadt, C. L., Hong, Y. J., & Diamond, A. (1994). The relationship between cognition and action: performance of children 3½-7 years old on a Stroop-like day-night test. *Cognition*, *53*, 129–153. doi:10.1016/0010-0277(94)90068-X
- Gibson, E. J. (1982). The Concept of Affordances in Development: The Renaissance of Functionalism. In W. A. Collins (Ed.), *The Concept of Development - The Minnesota Symposia on Child Psychology* (pp. 55–82). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Gibson, E. J. (1988). Exploratory behavior in the development of perceiving, acting, and the acquiring of knowledge. *Annual Review of Psychology*, *39*, 1–42. doi:10.1146/annurev.ps.39.020188.000245
- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston, MA: Houghton Mifflin Comp.
- Gick, M. L., & Holyoak, K. J. (1980). Analogical Problem Solving. *Cognitive Psychology*, *12*, 306–355. Retrieved from http://reasoninglab.psych.ucla.edu/KH_pdfs/Gick-Holyoak%281980%29Analogical Problem Solving.pdf
- Goodall, J. (1964). Tool-Using and Aimed Throwing in a Community of Free-Living Chimpanzees. *Nature*, *201*, 1264–1266. doi:10.1038/2011264a0
- Gopnik, A. (2012). Scientific thinking in young children: theoretical advances, empirical research, and policy implications. *Science*, *337*(6102), 1623–1627. doi:10.1126/science.1223416
- Gopnik, A., & Schulz, L. (2004). Mechanisms of theory formation in young children. *Trends in Cognitive Sciences*, *8*(8), 371–377. doi:10.1016/j.tics.2004.06.005
- Gopnik, A., & Sobel, D. M. (2000). Detecting blickets: how young children use information about novel causal powers in categorization and induction. *Child Development*, *71*(5), 1205–1222. doi:10.1111/1467-8624.00224
- Gopnik, A., Sobel, D. M., Schulz, L. E., & Glymour, C. (2001). Causal learning mechanisms in very young children: Two-, three-, and four-year-olds infer causal relations from patterns of variation and covariation. *Developmental Psychology*, *37*(5), 620–629. doi:10.1037//0012-1649.37.5.620
- Goren, C. C., Sarty, M., & Wu, P. Y. K. (1975). Visual Following and Pattern Discrimination of Face-like Stimuli by Newborn Infants. *Pediatrics*, *56*(4), 544–549. Retrieved from <http://pediatrics.aappublications.org/content/56/4/544.full.pdf>
- Goswami, U. (1991). Analogical Reasoning: What Develops? A Review of Research and Theory. *Child Development*, *62*, 1–22. doi:10.1111/j.1467-8624.1991.tb01511.x
- Goswami, U. (1992). *Analogical Reasoning in Children*. Mahwah, NJ: Erlbaum.

- Goswami, U. (1995). Transitive Relational Mappings in Three- and Four-Year-Olds: The Analogy of Goldilocks and the Three Bears. *Child Development*, *66*(3), 877–892. doi:10.2307/1131956
- Goswami, U., & Brown, A. L. (1989). Melting chocolate and melting snowmen: Analogical reasoning and causal relations. *Cognition*, *35*, 69–95. doi:10.1016/0010-0277(90)90037-K
- Goswami, U., & Brown, A. L. (1990). Higher-order structure and relational reasoning: Contrasting analogical and thematic relations. *Cognition*, *36*, 207–226. doi:10.1016/0010-0277(90)90057-Q
- Grant, B. Y. D. A., & Berg, E. A. (1946). A behavioral analysis of degree of reinforcement and ease of shifting to new responses in a Weigl-type card-sorting problem. *Journal of Experimental Child Psychology*, *38*(4), 404–411. doi:10.1037/h0059831
- Gredlein, J. M., & Bjorklund, D. F. (2005). Sex Differences in Young Children's Use of Tools in a Problem-Solving Task. *Human Nature*, *16*(2), 211–232. doi:10.1007/s12110-005-1004-5
- Green, A. E., Fugelsang, J. A., & Dunbar, K. N. (2006). Automatic activation of categorical and abstract analogical relations in analogical reasoning. *Memory & Cognition*, *34*(7), 1414–1421. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17263066>
- Green, A. E., Fugelsang, J. A., Kraemer, D. J. M., & Dunbar, K. N. (2008). The Micro-Category account of analogy. *Cognition*, *106*(2), 1004–1016. doi:10.1016/j.cognition.2007.03.015
- Haidle, M. N. (2010). Working Memory Capacity and the Evolution of Modern Cognitive Potential. *Current Anthropology*, *51*(s1), S149–S166. doi:10.1086/650295
- Haidle, M. N. (2012). *How to think tools?* Tübingen: Eberhard Karls Universität Tübingen.
- Halford, G. S., Wilson, W. H., & Phillips, S. (1998). Processing capacity defined by relational complexity: implications for comparative, developmental, and cognitive psychology. *The Behavioral and Brain Sciences*, *21*(6), 803–831. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10191879>
- Hall, K. R. L. (1963). Tool-Using Performances as Indicators of Behavioral Adaptability. *Current Anthropology*, *4*(5), 479–494. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/2739650>
- Hanus, D., Mendes, N., Tennie, C., & Call, J. (2011). Comparing the performances of apes (*Gorilla gorilla*, *Pan troglodytes*, *Pongo pygmaeus*) and human children (*Homo sapiens*) in the floating peanut task. *PloS One*, *6*(6), e19555. doi:10.1371/journal.pone.0019555
- Harlow, J. M. (1848). Passage of an iron rod through the head. *Boston Medical and Surgical Journal*, *39*(20), 389–393. Retrieved from <https://www.countway.harvard.edu/menuNavigation/chom/warren/exhibits/HarlowBMSJ1848.pdf>
- Harlow, J. M. (1868). Recovery from the passage of an iron bar through the head. *Publications of the Massachusetts Medical Society*, *2*, 327–347. Retrieved from <https://www.countway.harvard.edu/menuNavigation/chom/warren/exhibits/HarlowBMSJ1860.pdf>

- Herbert, J., Gross, J., & Hayne, H. (2006). Age-related changes in deferred imitation between 6 and 9 months of age. *Infant Behavior & Development*, *29*(1), 136–139. doi:10.1016/j.infbeh.2005.08.002
- Hernik, M., & Csibra, G. (2009). Functional understanding facilitates learning about tools in human children. *Current Opinion In Neurobiology*, *19*(1), 34–38. doi:10.1016/j.conb.2009.05.003
- Hofmann, W., Schmeichel, B. J., & Baddeley, A. D. (2012). Executive functions and self-regulation. *Trends in Cognitive Sciences*, *16*(3), 174–180. doi:10.1016/j.tics.2012.01.006
- Hofstadter, D. R. (2001). Analogy as the Core of Cognition. In D. Gentner, K. J. Holyoak, & B. N. Kokinov (Eds.), *The Analogical Mind: Perspectives from Cognitive Science* (pp. 499–538). Cambridge, MA: The MIT Press/Bradford Book.
- Hofstadter, M., & Reznick, J. S. (1996). Response Modality Affects Human Infant Delayed-Response Performance. *Child Development*, *67*, 646–658. Retrieved from <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=3&sid=37f3177f-baa1-437f-ba0b-261ccc4c5b73@sessionmgr114&hid=125>
- Holyoak, K. J., & Gentner, D. (2001). Introduction: The place of analogy in cognition. In D. Gentner, K. J. Holyoak, & B. N. Kokinov (Eds.), *The analogical mind: Perspectives from cognitive science*. (pp. 1–20). Cambridge, London: MIT Press.
- Holyoak, K. J., Junn, E. N., & Billman, D. O. (1984). Development of analogical problem-solving skill. *Child Development*, *55*(6), 2042–2055. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6525888>
- Holyoak, K. J., & Thagard, P. (1997). The analogical mind. *The American Psychologist*, *52*(1), 35–44. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21564235>
- Hongwanishkul, D., Happaney, K. R., Lee, W. S. C., & Zelazo, P. D. (2005). Assessment of hot and cool executive function in young children: age-related changes and individual differences. *Developmental Neuropsychology*, *28*(2), 617–644. doi:10.1207/s15326942dn2802_4
- Hood, B., Cole-Davies, V., & Dias, M. (2003). Looking and search measures of object knowledge in preschool children. *Developmental Psychology*, *39*(1), 61–70. doi:10.1037/0012-1649.39.1.61
- Hood, B., Santos, L., & Fieselman, S. (2000). Two-year-olds' naïve predictions for horizontal trajectories. *Developmental Science*, *3*(3), 328–332. doi:10.1111/1467-7687.00127
- Hopper, L. M., Flynn, E. G., Wood, L. A. N., & Whiten, A. (2010). Observational learning of tool use in children: Investigating cultural spread through diffusion chains and learning mechanisms through ghost displays. *Journal of Experimental Child Psychology*, *106*(1), 82–97. doi:10.1016/j.jecp.2009.12.001
- Horner, V., & Whiten, A. (2005). Causal knowledge and imitation/emulation switching in chimpanzees (*Pan troglodytes*) and children (*Homo sapiens*). *Animal Cognition*, *8*(3), 164–181. doi:10.1007/s10071-004-0239-6

- 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. doi:10.1111/j.1467-8624.2005.00867.x
- Hrabok, M., & Kerns, K. A. (2010). The Development of Self-Regulation: A Neuropsychological Perspective. In B. W. Sokol, U. Müller, J. I. M. Carpendale, A. R. Young, & G. Iarocci (Eds.), *Self and Social Regulation: Social Interaction and the Development of Social Understanding and Executive Functions.2* (pp. 129–154). New York: Oxford University Press.
- Hughes, C., & Ensor, R. (2005). Executive function and theory of mind in 2 year olds: A family affair? *Developmental Neuropsychology*, *28*(2), 645–668. doi:10.1207/s15326942dn2802_5
- Hughes, C., & Ensor, R. (2007). Executive function and theory of mind: Predictive relations from ages 2 to 4. *Developmental Psychology*, *43*(6), 1447–1459. doi:10.1037/0012-1649.43.6.1447
- Hughes, C., Ensor, R., Wilson, A., & Graham, A. (2010). Tracking executive function across the transition to school: a latent variable approach. *Developmental Neuropsychology*, *35*(1), 20–36. doi:10.1080/87565640903325691
- Hughes, C., & Graham, A. (2002). Measuring Executive Functions in Childhood: Problems and Solutions? *Child and Adolescent Mental Health*, *7*(3), 131–142. doi:10.1111/1475-3588.00024
- Hughes, C., & Russell, J. (1993). Autistic children's difficulty with mental disengagement from an object: Its implications for theories of autism. *Developmental Psychology*, *29*(3), 498–510. doi:10.1037//0012-1649.29.3.498
- Huizinga, M., Dolan, C. V., & van der Molen, M. W. (2006). Age-related change in executive function: developmental trends and a latent variable analysis. *Neuropsychologia*, *44*(11), 2017–36. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2006.01.010
- Hume, D. (2007). *Eine Untersuchung über den menschlichen Verstand*. (L. Wiesing, Ed.). Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Hummel, J. E., & Holyoak, K. J. (1997). Distributed Representations of Structure: A Theory of Analogical Access and Mapping. *Psychological Review*, *104*(3), 427–466. doi:10.1037/0033-295X.104.3.427
- Iriki, A., Tanaka, M., & Iwamura, Y. (1996). Coding of modified body schema during tool use by macaque postcentral neurones. *Cognitive Neuroscience & Neuropsychology*, *7*(14), 2325–2330.
- Johnson, M. H. (1995). The inhibition of automatic saccades in early infancy. *Developmental Psychobiology*, *28*(5), 281–291. doi:10.1002/dev.420280504
- Kahrs, B. A., Jung, W. P., & Lockman, J. J. (2013a). Motor origins of tool use. *Child Development*, *84*(3), 810–816. doi:10.1111/cdev.12000
- Kahrs, B. A., Jung, W. P., & Lockman, J. J. (2013b). When Does Tool Use Become Distinctively Human? Hammering in Young Children. *Child Development*, *00*(0), 1–12. doi:10.1111/cdev.12179

- Kavšek, M. J. (2000). *Visuelle Wahrnehmung bei Säuglingen: Gewöhnung und Informationsverarbeitung*. Lengerich: Pabst Science Publishers.
- Kawamura, S. (1958). The Process of Sub-culture Propagation among Japanese Macaques. *Primates*, 2(1), 43–60. doi:10.1007/BF01666110
- Keen, R. (2011). The development of problem solving in young children: a critical cognitive skill. *Annual Review of Psychology*, 62, 1–21. doi:10.1146/annurev.psych.031809.130730
- Kelemen, D. (1999). Function, goals and intention: children's teleological reasoning about objects. *Trends in Cognitive Sciences*, 3(12), 461–468. doi:10.1016/S1364-6613(99)01402-3
- Kelemen, D., Rottman, J., & Seston, R. (2013). Professional physical scientists display tenacious teleological tendencies: purpose-based reasoning as a cognitive default. *Journal of Experimental Psychology: General*, 142(4), 1074–1083. doi:10.1037/a0030399
- Kenward, B. (2012). Over-imitating preschoolers believe unnecessary actions are normative and enforce their performance by a third party. *Journal of Experimental Child Psychology*, 112(2), 195–207. doi:10.1016/j.jecp.2012.02.006
- Kessels, R. P., van Zandvoort, M. J., Postma, A., Kappelle, L. J., & de Haan, E. H. (2000). The Corsi Block-Tapping Task: standardization and normative data. *Applied Neuropsychology*, 7(4), 252–158. doi:10.1207/S15324826AN0704_8
- Kingo, O. S. (2008). The Concept of Concepts: Perceptual and Conceptual Categorization in Infancy under Scrutiny. *Journal of Anthropological Psychology*, 19, 1–21. Retrieved from <http://pure.au.dk/portal/files/14706436/joap-no19-xtarget.pdf>
- Király, I., Csibra, G., & Gergely, G. (2013). Beyond rational imitation: learning arbitrary means actions from communicative demonstrations. *Journal of Experimental Child Psychology*, 116(2), 471–486. doi:10.1016/j.jecp.2012.12.003
- Kirkham, N. Z., Cruess, L., & Diamond, A. (2003). Helping children apply their knowledge to their behavior on a dimension-switching task. *Developmental Science*, 6(5), 449–467. doi:10.1111/1467-7687.00300
- Kloo, D., & Perner, J. (2005). Disentangling dimensions in the dimensional change card-sorting task. *Developmental Science*, 8(1), 44–56. doi:10.1111/j.1467-7687.2005.00392.x
- Kochanska, G. (2002). Committed compliance, moral self, and internalization: A mediational model. *Developmental Psychology*, 38(3), 339–351. doi:10.1037//0012-1649.38.3.339
- Kochanska, G., & Knaack, A. (2003). Effortful control as a personality characteristic of young children: antecedents, correlates, and consequences. *Journal of Personality*, 71(6), 1087–112. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14633059>
- Kochanska, G., Murray, K. T., & Harlan, E. T. (2000). Effortful control in early childhood: Continuity and change, antecedents, and implications for social development. *Developmental Psychology*, 36(2), 220–232. doi:10.1037/0012-1649.36.2.220

- Kochanska, G., Tjebkes, T. L., & Forman, D. R. (1998). Children's Emerging Regulation of Conduct: Restraint, Compliance, and Internalization from Infancy to the Second Year. *Child Development, 69*(5), 1378–1389. doi:10.2307/1132272
- Köhler, W. (1921). *Intelligenzprüfungen an Menschenaffen*. Berlin: Verlag von Julius Springer.
- Kolb, B., Mychasiuk, R., Muhammad, A., Li, Y., Frost, D. O., & Gibb, R. (2012). Experience and the developing prefrontal cortex. *PNAS, 109*, 17186–17193. doi:10.1073/pnas.1121251109
- Kotovskiy, L., & Baillargeon, R. (2000). Reasoning about collision involving inert objects in 7.5-month-old infants. *Developmental Science, 3*(3), 344–359. doi:10.1016/0010-0277(90)90057-Q
- Kotowicz, Z. (2007). The strange case of Phineas Gage. *History of the Human Sciences, 20*(1), 115–131. doi:10.1177/0952695106075178
- Krawczyk, D. C., Morrison, R. G., Viskontas, I., Holyoak, K. J., Chow, T. W., Mendez, M. F., ... Knowlton, B. J. (2008). Distraction during relational reasoning: the role of prefrontal cortex in interference control. *Neuropsychologia, 46*(7), 2020–2032. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2008.02.001
- Krikorian, R., Bartok, J., & Gay, N. (1994). Tower of London procedure: a standard method and developmental data. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 16*(6), 840–850. doi:10.1080/01688639408402697
- Kuhn, D. (1995). Microgenetic Study of Change: What Has It Told Us? *Psychological Science, 6*(3), 133–139. doi:10.1111/j.1467-9280.1995.tb00322.x
- Lee, K., Bull, R., & Ho, R. M. H. (2013). Developmental changes in executive functioning. *Child Development, 84*(6), 1933–1953. doi:10.1111/cdev.12096
- Lee, K., Ng, S. F., Pe, M. L., Ang, S. Y., Hasshim, M. N. A. M., & Bull, R. (2012). The cognitive underpinnings of emerging mathematical skills: executive functioning, patterns, numeracy, and arithmetic. *The British Journal of Educational Psychology, 82*, 82–99. doi:10.1111/j.2044-8279.2010.02016.x
- Lehto, J. E., Juujärvi, P., Kooistra, L., & Pulkkinen, L. (2003). Dimensions of executive functioning: Evidence from children. *British Journal of Developmental Psychology, 21*, 59–80. doi:10.1348/026151003321164627
- Lemmon, K., & Moore, C. (2007). The development of prudence in the face of varying future rewards. *Developmental Science, 10*(4), 502–511. doi:10.1111/j.1467-7687.2007.00603.x
- Leslie, A. M. (1982). The perception of causality in infants. *Perception, 11*, 173–186. doi:10.1068/p110173
- Leslie, A. M. (1984). Spatiotemporal continuity and the perception of causality in infants. *Perception, 13*, 287–305. doi:10.1068/p130287
- Leslie, A. M., & Keeble, S. (1987). Do six-month-old infants perceive causality? *Cognition, 25*, 265–288. doi:10.1016/S0010-0277(87)80006-9

- Levinson, P. J., & Carpenter, R. L. (1974). An analysis of analogical reasoning in children. *Child Development*, 45(3), 857–861. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/4143843>
- Lewis, M., Stanger, C., & Sullivan, M. W. (1989). Deception in 3-year-olds. *Developmental Psychology*, 25(3), 439–443. doi:10.1037//0012-1649.25.3.439
- Liepmann, D., Beauducel, A., Brocke, B., & Amthauer, R. (2007). *Intelligenz-Struktur-Test 2000 R (erweiterte Auflage)*. Göttingen: Hogrefe.
- Liew, J. (2012). Effortful Control, Executive Functions, and Education: Bringing Self-Regulatory and Social-Emotional Competencies to the Table. *Child Development Perspectives*, 6(2), 105–111. doi:10.1111/j.1750-8606.2011.00196.x
- Lockman, J. J. (2000). A perception-action perspective on tool use development. *Child Development*, 71(1), 137–144. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10836567>
- Loucks, J., & Sommerville, J. A. (2012). The role of motor experience in understanding action function: the case of the precision grasp. *Child Development*, 83(3), 801–9. doi:10.1111/j.1467-8624.2012.01735.x
- Lunzer, E. A. (1965). Problems of formal reasoning in test situations. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 30(2), 19–46. doi:10.2307/1165774
- Luo, Y. (2010). Do 8-Month-Old Infants Consider Situational Constraints When Interpreting Others' Gaze as Goal-Directed Action? *Infancy*, 15(4), 392–419. doi:10.1111/j.1532-7078.2009.00019.x
- Luo, Y., & Baillargeon, R. (2005). Can a self-propelled box have a goal? Psychological reasoning in 5-month-old infants. *Psychological Science*, 16(8), 601–608. doi:10.1111/j.1467-9280.2005.01582.x
- Lynch Alfaro, J., Silva Jr., J. D. S. E., & Rylands, A. B. (2012). How Different Are Robust and Gracile Capuchin Monkeys? An Argument for the Use of Sapajus and Cebus. *American Journal of Primatology*, 74(4), 273–286. doi:10.1002/ajp.22007
- Madole, K. L., & Cohen, L. B. (1995). The role of object parts in infants' attention to form-function correlations. *Developmental Psychology*, 31(4), 637–648. doi:10.1037//0012-1649.31.4.637
- Madole, K. L., & Oakes, L. M. (1999). Making Sense of Infant Categorization: Stable Processes and Changing Representations. *Developmental Review*, 19, 263–296. doi:10.1006/drev.1998.0481
- Madole, K. L., Oakes, L. M., & Cohen, L. B. (1993). Developmental changes in infants' attention to function and form-function correlations. *Cognitive Development*, 8(2), 189–209. doi:10.1016/0885-2014(93)90014-V
- Mandler, J. M. (2000). Perceptual and Conceptual Processes in Infancy. *Journal of Cognition and Development*, 1(1), 3–36. doi:10.1207/S15327647JCD0101N_2

- Mandler, J. M. (2004a). A synopsis of The foundations of mind: Origins of conceptual thought (2004). New York: Oxford University Press. *Developmental Science*, 7(5), 499–505. doi:10.1111/j.1467-7687.2004.00369.x
- Mandler, J. M. (2004b). On the other hand... *Developmental Science*, 7(5), 516–517. doi:10.1111/j.1467-7687.2004.00374.x
- Mann, J., Sargeant, B. L., Watson-Capps, J. J., Gibson, Q. a, Heithaus, M. R., Connor, R. C., & Patterson, E. (2008). Why do dolphins carry sponges? *PloS One*, 3(12), e3868. doi:10.1371/journal.pone.0003868
- Margolis, E., & Laurence, S. (2014). Concepts. In E. N. Zalta (Ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 201.). Retrieved from forthcoming URL <http://plato.stanford.edu/archives/spr2014/entries/concepts>
- Marinovic, V., Pauen, S., Birkenberg, L., & Fischer, I. (2010). Ostensive cues and category learning in the social context. Poster presented at the. In *DISCOS conference*. Budapest, Hungary.
- Martin, J., & Failows, L. (2010). Executive Function: Theoretical Concerns. In B. W. Sokol, U. Müller, & J. I. M. Carpendale (Eds.), *Self and Social Regulation: Social Interaction and the Development of Social Understanding and Executive Functions*. (pp. 35–55). New York: Oxford University Press.
- Mash, C., Novak, E., Berthier, N. E., & Keen, R. (2006). What do two-year-olds understand about hidden-object events? *Developmental Psychology*, 42(2), 263–71. doi:10.1037/0012-1649.42.2.263
- McCarty, M. E., Clifton, R. K., & Collard, R. R. (1999). Problem solving in infancy: the emergence of an action plan. *Developmental Psychology*, 35(4), 1091–1101. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10442877>
- McCarty, M. E., Clifton, R. K., & Collard, R. R. (2001). The Beginnings of Tool Use by Infants and Toddlers. *Infancy*, 2(2), 233–256. doi:10.1207/S15327078IN0202_8
- McCormack, T., & Atance, C. M. (2011). Planning in young children: A review and synthesis. *Developmental Review*, 31(1), 1–31. doi:10.1016/j.dr.2011.02.002
- McGuigan, N., Makinson, J., & Whiten, A. (2011). From over-imitation to super-copying: adults imitate causally irrelevant aspects of tool use with higher fidelity than young children. *British Journal of Psychology (London, England: 1953)*, 102(1), 1–18. doi:10.1348/000712610X493115
- McGuigan, N., & Núñez, M. (2006). Executive Functioning by 18–24-Month-Old Children: Effects of Inhibition, Working Memory Demands and Narrative in a Novel Detour-Reaching Task. *Infant and Child Development*, 15, 519–542. doi:10.1002/icd
- McGuigan, N., Whiten, A., Flynn, E., & Horner, V. (2007). Imitation of causally opaque versus causally transparent tool use by 3- and 5-year-old children. *Cognitive Development*, 22(3), 353–364. doi:10.1016/j.cogdev.2007.01.001
- Medin, D., & Ortony, A. (1989). Psychological essentialism. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning* (pp. 179–195). New York: Cambridge University Press.

- Meltzoff, A. N., Waismeyer, A., & Gopnik, A. (2012). Learning about causes from people: observational causal learning in 24-month-old infants. *Developmental Psychology*, *48*(5), 1215–28. doi:10.1037/a0027440
- Mendes, N., Hanus, D., & Call, J. (2007). Raising the level: orangutans use water as a tool. *Biology Letters*, *3*(5), 453–455. doi:10.1098/rsbl.2007.0198
- Metcalf, J., & Mischel, W. (1999). A Hot/Cool-System Analysis of Delay of Gratification: Dynamics of Willpower. *Psychological Review*, *106*(1), 3–19. doi:10.1037/0033-295X.106.1.3
- Michotte, A. (1982). *Die phänomenale Kausalität*. Bern, Stuttgart: Huber.
- Miller, M. R., Giesbrecht, G. F., Müller, U., McInerney, R. J., & Kerns, K. A. (2012). A Latent Variable Approach to Determining the Structure of Executive Function in Preschool Children. *Journal of Cognition and Development*, *13*(3), 395–423. doi:10.1080/15248372.2011.585478
- Mischel, W., Shoda, Y., & Rodriguez, M. L. (1989). Delay of gratification in children. *Science*, *244*(4907), 933–937. doi:10.1126/science.2658056
- Miyake, A., & Friedman, N. P. (2012). The Nature and Organization of Individual Differences in Executive Functions: Four General Conclusions. *Current Directions in Psychological Science*, *21*(1), 8–14. doi:10.1177/0963721411429458
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “Frontal Lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, *41*, 49–100. doi:10.1006/cogp.1999.0734
- Morrison, R. G., Dumas, L. a a, & Richland, L. E. (2011). A computational account of children’s analogical reasoning: balancing inhibitory control in working memory and relational representation. *Developmental Science*, *14*(3), 516–29. doi:10.1111/j.1467-7687.2010.00999.x
- Morrison, R. G., Krawczyk, D. C., Holyoak, K. J., Hummel, J. E., Chow, T. W., Miller, B. L., & Knowlton, B. J. (2004). A Neurocomputational Model of Analogical Reasoning and its Breakdown in Frontotemporal Lobar Degeneration. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *16*(2), 260–271. doi:10.1162/089892904322984553
- Muentener, P., Friel, D., & Schulz, L. (2012). Giving the giggles: prediction, intervention, and young children’s representation of psychological events. *PloS One*, *7*(8), e42495. doi:10.1371/journal.pone.0042495
- Mulcahy, N. J., Call, J., & Dunbar, R. I. M. (2005). Gorillas (*Gorilla gorilla*) and orangutans (*Pongo pygmaeus*) encode relevant problem features in a tool-using task. *Journal of Comparative Psychology*, *119*(1), 23–32. doi:10.1037/0735-7036.119.1.23
- Müller, U., Dick, A. S., Gela, K., Overton, W. F., & Zelazo, P. D. (2006). The role of negative priming in preschoolers’ flexible rule use on the dimensional change card sort task. *Child Development*, *77*(2), 395–412. doi:10.1111/j.1467-8624.2006.00878.x

- Munakata, Y. (2001). Graded representations in behavioral dissociations. *Trends in Cognitive Sciences*, 5(7), 309–315. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11425620>
- Munakata, Y., Bauer, D., Stackhouse, T., Landgraf, L., & Huddleston, J. (2002). Rich interpretation vs. deflationary accounts in cognitive development: the case of means-end skills in 7-month-old infants. *Cognition*, 83(3), B43–B53. doi:10.1016/S0010-0277(02)00007-0
- Munakata, Y., McClelland, J. L., Johnson, M. H., & Siegler, R. S. (1997). Rethinking infant knowledge: toward an adaptive process account of successes and failures in object permanence tasks. *Psychological Review*, 104(4), 686–713. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9337629>
- Murphy, G. L. (2004). On the conceptual–perceptual divide in early concepts. *Developmental Science*, 7(5), 506–515. doi:10.1111/j.1467-7687.2004.00373.x
- Murphy, G. L., Medin, D., Barsalou, L., Callanan, M., Clark, E., Hampson, S., ... Newport, E. (1985). The Role of Theories in Conceptual Coherence. *Psychological Review*, 92(3), 289–316. doi:10.1037/0033-295X.92.3.289
- Nagahama, Y., Okada, T., Katsumi, Y., Hayashi, T., Yamauchi, H., Oyanagi, C., ... Shibasaki, H. (2001). Dissociable mechanisms of attentional control within the human prefrontal cortex. *Cerebral Cortex*, 11(1), 85–92. doi:10.1093/cercor/11.1.85
- Needham, A. (2000). Improvements in Object Exploration Skills May Facilitate the Development of Object Segregation in Early Infancy. *Journal of Cognition and Development*, 1(2), 131–156. doi:10.1207/S15327647JCD010201
- Nelson, K. (1974). Concept, Word, and Sentence: Interrelations in Acquisition and Development. *Psychological Review*, 81(4), 267–285. doi:10.1037/h0036592
- Nelson, K. (2000). Global and Functional: Mandler's Perceptual and Conceptual Processes in Infancy. *Journal of Cognition and Development*, 1(1), 49–54. doi:10.1207/S15327647JCD0101N_5
- Nelson, K. (2008). Concept, Word and Meaning in Brief Historical Context (Commentary to Osman Kingo: The Concept of Concepts). *Journal of Anthropological Psychology*, (19), 28–31. Retrieved from http://psy.au.dk/fileadmin/Psykologi/Forskning/Forskningsenheder/Journal_of_Anthropological_Psychology/Volume_19/katherine_nelson.pdf
- Nielsen, M. (2006). Copying actions and copying outcomes: social learning through the second year. *Developmental Psychology*, 42(3), 555–565. doi:10.1037/0012-1649.42.3.555
- Nielsen, M., Subiaul, F., Galef, B., Zentall, T., & Whiten, A. (2012). Social learning in humans and nonhuman animals: theoretical and empirical dissections. *Journal of Comparative Psychology*, 126(2), 109–113. doi:10.1037/a0027758
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to Action: Willed and Automatic Control of Behavior. In R. J. Davidson, G. E. Schwartz, & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and self-regulation: Advances in research and theory (Vol. 4)* (pp. 1–18). New York: Plenum Press.

- Oakes, L. M., & Cohen, L. B. (1990). Infant Perception of a Causal Event. *Cognitive Development, 5*, 193–207. doi:10.1016/0885-2014(90)90026-P
- Oakes, L. M., Madole, K. L., & Cohen, L. B. (1991). Infants' object examining: Habituation and categorization. *Cognitive Development, 6*(4), 377–392. doi:10.1016/0885-2014(91)90045-F
- Opfer, J. E., & Bulloch, M. J. (2007). Causal relations drive young children's induction, naming, and categorization. *Cognition, 105*(1), 206–217. doi:10.1016/j.cognition.2006.08.006
- Oppenheimer, R. (1956). Analogy in Science. *American Psychologist, 11*(3), 127–135. doi:10.1037/h0046760
- Ottoni, E. B., & Izar, P. (2008). Capuchin monkey tool use: Overview and implications. *Evolutionary Anthropology, 17*(4), 171–178. doi:10.1002/evan.20185
- Pahnke, J. (2007). *Visuelle Habituation und Dishabituation als Maße kognitiver Fähigkeiten im Säuglingsalter: Individuelle Differenzen in Habituationaufgaben zur Unterscheidung einzelner vs. kategorialer Stimuli*. Dissertation, Universität Heidelberg.
- Palmer, C. F. (1989). The discriminating nature of infants' exploratory actions. *Developmental Psychology, 25*(6), 885–893. doi:10.1037//0012-1649.25.6.885
- Parker, S. T., & Gibson, K. R. (1977). Object Manipulation, Tool Use and Sensorimotor Intelligence as Feeding Adaptations in Cebus Monkeys and Great Apes. *Journal of Human Evolution, 6*, 623–641. doi:10.1016/S0047-2484(77)80135-8
- Pauen, S. (2002). Evidence for knowledge-based category discrimination in infancy. *Child Development, 73*(4), 1016–1033. doi:10.1111/1467-8624.00454
- Pauen, S. (2006). *Was Babys denken*. München: C.H. Beck.
- Pauen, S. (March, 2008). *The role of social information for category learning at a preverbal age*. Poster presented at the International Conference on Infant Studies (ICIS). Vancouver, Canada.
- Pauen, S., Bechtel, S., & Schulz, A. (in preparation). IMPuls-MANagement vom Kleinkind- bis zum Vorschulalter (IMMA): Ein Elternfragebogen zum gemeinsamen Umgang mit Wünschen, Zielen und Ansprüchen.
- Pauen, S., & Träuble, B. (2006). Kategorisierung und Konzeptbildung. In W. Schneider & B. Sodian (Eds.), *Enzyklopädie der Psychologie: Band 2, Kognitive Entwicklung*. Göttingen: Hogrefe.
- Pauen, S., & Träuble, B. (2009). How 7-month-olds interpret ambiguous motion events: category-based reasoning in infancy. *Cognitive Psychology, 59*(3), 275–295. doi:10.1016/j.cogpsych.2009.06.001
- Pauen, S., & Wilkening, F. (1997). Children's analogical reasoning about natural phenomena. *Journal of Experimental Child Psychology, 67*(1), 90–113. doi:10.1006/jecp.1997.2394
- Pelphrey, K. A., Reznick, J. S., Davis Goldman, B., Sasson, N., Morrow, J., Donahoe, A., & Hodgson, K. (2004). Development of visuospatial short-term memory in the second half of the 1st year. *Developmental Psychology, 40*(5), 836–851. doi:10.1037/0012-1649.40.5.836

- Penn, D. C., & Povinelli, D. J. (2007). Causal cognition in human and nonhuman animals: a comparative, critical review. *Annual Review of Psychology*, *58*, 97–118. doi:10.1146/annurev.psych.58.110405.085555
- Perone, S., & Oakes, L. M. (2006). It clicks when it is rolled and it squeaks when it is squeezed: what 10-month-old infants learn about object function. *Child Development*, *77*(6), 1608–1622. doi:10.1111/j.1467-8624.2006.00962.x
- Petermann, F., & Petermann, U. (2010). *Hamburg-Wechsler-Intelligenztest für Kinder - IV (Übersetzung und Adaption der WISC-IV® von David Wechsler)*. Bern: Huber.
- Petrides, M., & Milner, B. (1981). Deficits on self-ordered tasks after frontal- and temporal-lobe lesions in man. *Neuropsychologia*, *20*(3), 249–262. doi:10.1016/0028-3932(82)90100-2
- Phillips, B., Seston, R., & Kelemen, D. (2012). Learning about tool categories via eavesdropping. *Child Development*, *83*(6), 2057–2072. doi:10.1111/j.1467-8624.2012.01827.x
- Piaget, J. (1953). *The origins of intelligence in children*. London: Routledge & Kegan Paul. doi:10.1037/11494-000
- Piaget, J. (1954). *The construction of reality in the child*. New York: Routledge.
- Piaget, J., Montangero, J., & Billeter, J.-B. (1977). La formation des correlats. In *Recherches sur l'abstraction réfléchissante* (Bd. 1., pp. 115–129). Paris: Presses Universitaires de France.
- Pierce, K. A., & Gholson, B. (1994). Surface similarity and relational similarity in the development of analogical problem solving: Isomorphic and nonisomorphic transfer. *Developmental Psychology*, *30*(5), 724–737. doi:10.1037//0012-1649.30.5.724
- Poletti, M. (2010). Orbitofrontal cortex-related executive functions in children and adolescents: their assessment and its ecological validity. *Neuropsychological Trends*, *7*, 7–28. Retrieved from http://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CDMQFjAA&url=http://www.researchgate.net/publication/215731444_Orbitofrontal_cortex-related_executive_functions_in_children_and_adolescents_their_assessment_and_its_ecological_validity/file/79e4150645b9d63dc1.pdf&ei=FxNyU7HEElzZygOWjoG4Bg&usq=AFQjCNF-3Kt79OpjO3A1b3NecgkV_rJGA
- Ponitz, C. C., McClelland, M. M., Matthews, J. S., & Morrison, F. J. (2009). A structured observation of behavioral self-regulation and its contribution to kindergarten outcomes. *Developmental Psychology*, *45*(3), 605–619. doi:10.1037/a0015365
- Posner, M. I., & Rothbart, M. K. (1998). Attention, self-regulation and consciousness. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, *353*, 1915–1927. Retrieved from <http://www.bowdoin.edu/~sputnam/rothbart-temperament-questionnaires/pdf/attn-self-reg-consciousness.pdf>
- Posner, M. I., & Rothbart, M. K. (2000). Developing mechanisms of self-regulation. *Development and Psychopathology*, *12*(3), 427–441. doi:10.1017/S0954579400003096

- Posner, M. I., Rothbart, M. K., Sheese, B. E., & Voelker, P. (2012). Control networks and neuromodulators of early development. *Developmental Psychology*, *48*(3), 827–835. doi:10.1037/a0025530
- Povinelli, D. J., & Dunphy-Lelii, S. (2001). Do chimpanzees seek explanations? Preliminary comparative investigations. *Canadian Journal of Experimental Psychology = Revue Canadienne de Psychologie Expérimentale*, *55*(2), 185–93. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11433789>
- Pribram, K. H. (1973). The primate frontal cortex - Executive of the brain. In K. H. Pribram (Ed.), *Psychophysiology of the frontal lobes* (pp. 293–314). New York, London: Academic Press.
- Prinz, W. (1997). Perception and Action Planning. *European Journal of Cognitive Psychology*, *9*(2), 129–154. doi:10.1080/713752551
- Quinn, P. C., & Eimas, P. D. (2000). The Emergence of Category Representations During Infancy: Are Separate Perceptual and Conceptual Processes Required? *Journal of Cognition and Development*, *1*(1), 55–61. doi:10.1207/S15327647JCD0101N_6
- Rakison, D. H., & Krogh, L. (2012). Does causal action facilitate causal perception in infants younger than 6 months of age? *Developmental Science*, *15*(1), 43–53. doi:10.1111/j.1467-7687.2011.01096.x
- Rat-Fischer, L., O'Regan, J. K., & Fagard, J. (2012). The emergence of tool use during the second year of life. *Journal of Experimental Child Psychology*, *113*(3), 440–6. doi:10.1016/j.jecp.2012.06.001
- Rattermann, M. J., & Gentner, D. (1998). More evidence for a relational shift in the development of analogy: Children's performance on a causal-mapping task. *Cognitive Development*, *13*(4), 453–478. doi:10.1016/S0885-2014(98)90003-X
- Reuner, G., Rosenkranz, J., & Heyde, G. (in preparation). *Bayley-III (Dt. Version)*. Frankfurt: Frankfurt: Pearson Assessment & Information GmbH.
- Reznick, J. S., Morrow, J. D., Goldman, B. D., & Snyder, J. (2004). The Onset of Working Memory in Infants. *Infancy*, *6*(1), 145–154. doi:10.1207/s15327078in0601_7
- Richardson, K., & Webster, D. S. (1996). Analogical reasoning and the nature of context: a research note. *The British Journal of Educational Psychology*, *66*, 23–32. doi:10.1111/j.2044-8279.1996.tb01173.x
- Richland, L. E., & Burchinal, M. R. (2013). Early executive function predicts reasoning development. *Psychological Science*, *24*(1), 87–92. doi:10.1177/0956797612450883
- Richland, L. E., Morrison, R. G., & Holyoak, K. J. (2006). Children's development of analogical reasoning: insights from scene analogy problems. *Journal of Experimental Child Psychology*, *94*(3), 249–273. doi:10.1016/j.jecp.2006.02.002
- Rochat, P. (1983). Oral Touch in Young Infants: Response to Variations of Nipple Characteristics in the First Months of Life. *International Journal of Behavioral Development*, *6*(2), 123–133. doi:10.1177/016502548300600201

- Rochat, P. (1987). Mouthing and grasping in neonates: Evidence for the early detection of what hard or soft substances afford for action. *Infant Behavior and Development*, *10*(4), 435–449. doi:10.1016/0163-6383(87)90041-5
- Ropeter, A. (2011). *Das Arbeitsgedächtnis im Säuglingsalter: Zusammenhänge mit Informationsverarbeitungsfähigkeiten und dem frühkindlichen Temperament*. (Dissertation, Ed.). Dissertation, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg. Retrieved from <http://www.ub.uni-heidelberg.de/archiv/12288>
- Rosati, A. G., Stevens, J. R., Hare, B., & Hauser, M. D. (2007). The Evolutionary Origins of Human Patience: Temporal Preferences in Chimpanzees, Bonobos, and Human Adults. *Current Biology*, *17*, 1663–1668. doi:10.1016/j.cub.2007.08.033
- Rosch, E. (1978). Principles of Categorization. In E. Rosch & B. B. Lloyd (Eds.), *Cognition and Categorization* (pp. 27–48). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Rosch, E., Mervis, C. B., Gray, W. D., Johnson, D. M., & Boyes-Braem, P. (1976). Basic Objects in Natural Categories. *Cognitive Psychology*, *8*, 382–439. doi:10.1016/0010-0285(76)90013-X
- Rösler, F. (2011). Our Emotions: Explaining Emotions—Reducing a Complex Phenomenon. In U. J. Frey, C. Stoermer, & K. P. Willführ (Eds.), *Essential building blocks of human nature* (pp. 55–75). Heidelberg: Springer.
- Rothbart, M. K. (1989). Temperament and development. In G. A. Kohnstamm, J. E. Bates, & M. K. Rothbart (Eds.), *Temperament in childhood* (pp. 187–247). Chichester: Wiley.
- Rothbart, M. K., & Posner, M. I. (2001). Mechanism and Variation in the Development of Attentional Networks. In C. A. Nelson & M. Luciana (Eds.), *Handbook of Developmental Cognitive Neuroscience* (pp. 353–364). Massachusetts Institute of Technology.
- Rueda, M. R., Fan, J., McCandliss, B. D., Halparin, J. D., Gruber, D. B., Lercari, L. P., & Posner, M. I. (2004). Development of attentional networks in childhood. *Neuropsychologia*, *42*(8), 1029–1040. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2003.12.012
- Rueda, M. R., Posner, M. I., & Rothbart, M. K. (2005). The development of executive attention: contributions to the emergence of self-regulation. *Developmental Neuropsychology*, *28*(2), 573–594. doi:10.1207/s15326942dn2802_2
- Ruff, H. A. (1984). Infants' Manipulative Exploration of Objects: Effects of Age and Object Characteristics. *Developmental Psychology*, *20*(1), 9–20. doi:10.1037//0012-1649.20.1.9
- Russell, J., Mauthner, N., Sharpe, S., & Tidswell, T. (1991). The “windows task” as a measure of strategic deception in preschoolers and autistic subjects. *British Journal of Developmental Psychology*, *9*(2), 331–349. doi:DOI: 10.1111/j.2044-835X.1991.tb00881.x
- Sabbatini, G., Truppa, V., Hribar, A., Gambetta, B., Call, J., & Visalberghi, E. (2012). Understanding the functional properties of tools: chimpanzees (*Pan troglodytes*) and capuchin monkeys (*Cebus apella*) attend to tool features differently. *Animal Cognition*, *15*(4), 577–590. doi:10.1007/s10071-012-0486-x

- Sanz, C. M., Call, J., & Boesch, C. (2013). *Tool use in animals*. New York: Cambridge University Press.
- Saxe, R., Tenenbaum, J. B., & Carey, S. (2005). Secret Agents: Inferences About Hidden Causes by 10- and 12-Month-Old Infants. *Psychological Science*, *16*(12), 995–1002. doi:10.1111/j.1467-9280.2005.01649.x
- Scerif, G., Karmiloff-Smith, A., Campos, R., Elsabbagh, M., Driver, J., & Cornish, K. (2005). To look or not to look? Typical and atypical development of oculomotor control. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *17*(4), 591–604. doi:10.1162/0898929053467523
- Scheel, A., & Träuble, B. (January, 2013). *The Role of Agent Action for Causal Reasoning in Infancy*. Poster presented at the Budapest CEU Conference on Cognitive Development 2013. Budapest, Hungary.
- Schiepek, G. (2009). Systemische Neurowissenschaften und systemische Therapie. *Systemische Notizen*, *03*, 38–53. Retrieved from http://www.la-sf.at/la-sf/upload/pdf/SN_03_09_GSchiepek.pdf
- Schlesinger, M., & Langer, J. (1999). Infants' developing expectations of possible and impossible tool-use events between ages 8 and 12 months. *Developmental Science*, *2*(2), 195–205. doi:10.1111/1467-7687.00068
- Schlottmann, A. (2001). Perception Versus Knowledge of Cause and Effect in Children: When Seeing Is Believing. *Current Directions in Psychological Science*, *10*(4), 111–115. doi:10.1111/1467-8721.00128
- Seed, A. M., Call, J., Emery, N. J., & Clayton, N. S. (2009). Chimpanzees solve the trap problem when the confound of tool-use is removed. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *35*(1), 23–34. doi:10.1037/a0012925
- Seed, A. M., Tebbich, S., Emery, N. J., & Clayton, N. S. (2006). Investigating physical cognition in rooks, *Corvus frugilegus*. *Current Biology*, *16*(7), 697–701. doi:10.1016/j.cub.2006.02.066
- Senn, T. E., Espy, K. A., & Kaufmann, P. M. (2004). Using Path Analysis to Understand Executive Function Organization in Preschool Children. *Developmental Neuropsychology*, *26*(1), 445–464. doi:10.1207/s15326942dn2601_5
- Shallice, T. (1982). Specific impairments of planning. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London: Series B, Biological Sciences*, *298*, 199–209. doi:10.1098/rstb.1982.0082
- Shumaker, R. W., Walkup, K. R., & Beck, B. B. (2011). *Animal tool use behavior: The use and manufacture of tools by animals*. Baltimore: The John Hopkins University Press.
- Siegler, R. S. (1981). Developmental Sequences within and between Concepts. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, *46*(2), 1–84. doi:10.2307/1165995
- Siegler, R. S. (1996). *Emerging minds: The process of change in children's thinking*. New York: Oxford University Press.

- Siegler, R. S. (2000). The Rebirth of Children's Learning. *Child Development*, 71(1), 26–35. doi:10.1111/1467-8624.00115
- Siegler, R. S. (2007). Cognitive variability. *Developmental Science*, 10(1), 104–109. doi:10.1111/j.1467-7687.2007.00571.x
- Siegler, R. S., Adolph, K. E., & Lemaire, P. (1996). Strategy Choices Across the Life Span. In L. R. Reder (Ed.), *Implicit memory and metacognition* (pp. 79–121). Mahwah, NJ: Erlbaum. Retrieved from <http://www.psy.cmu.edu/~siegler/siegleradolphlem96.pdf>
- Silva, F. J., Page, D. M., & Silva, K. M. (2005). Methodological-conceptual problems in the study of chimpanzees' folk physics: how studies with adult humans can help. *Learning & Behavior*, 33(1), 47–58. doi:10.3758/BF03196049
- Singer, W. (2009). The Brain, a Complex Self-organizing System. *European Review*, 17(2), 321–329. doi:10.1017/S1062798709000751
- Singer, W. (2013). Cortical dynamics revisited. *Trends in Cognitive Sciences*, 17(12), 616–626. doi:10.1016/j.tics.2013.09.006
- Singer-Freeman, K. E. (2005). Analogical reasoning in 2-year-olds: The development of access and relational inference. *Cognitive Development*, 20(2), 214–234. doi:10.1016/j.cogdev.2005.04.007
- Singer-Freeman, K. E., & Bauer, P. J. (2008). The ABCs of analogical abilities: Evidence for formal analogical reasoning abilities in 24-month-olds. *The British Journal of Educational Psychology*, 26, 317–335. doi:10.1348/014466507X238608
- Slater, A. (1989). Visual Memory and Perception in Early Infancy. In A. Slater & J. G. Bremner (Eds.), *Infant Development* (pp. 43 – 72). Hove: Erlbaum.
- Smith, L. B. (2005). Cognition as a dynamic system: Principles from embodiment. *Developmental Review*, 25(3-4), 278–298. doi:10.1016/j.dr.2005.11.001
- Smith, L. B., & Thelen, E. (2003). Development as a dynamic system. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(8), 343–348. doi:10.1016/S1364-6613(03)00156-6
- Smith, L. B., Thelen, E., Titzer, R., & McLin, D. (1999). Knowing in the context of acting: the task dynamics of the A-not-B error. *Psychological Review*, 106(2), 235–260. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10378013>
- Smitsman, A. W., & Cox, R. F. a. (2008). Perseveration in Tool Use: A Window for Understanding the Dynamics of the Action-Selection Process. *Infancy*, 13(3), 249–269. doi:10.1080/15250000802004379
- Sobel, D. M., & Kirkham, N. Z. (2006). Bickets and babies: the development of causal reasoning in toddlers and infants. *Developmental Psychology*, 42(6), 1103–1115. doi:10.1037/0012-1649.42.6.1103

- Sobel, D. M., Yoachim, C. M., Gopnik, A., Meltzoff, A. N., & Blumenthal, E. J. (2007). The Blicket Within: Preschoolers' Inferences About Insides and Causes. *Journal of Cognition and Development, 8*(2), 159–182. doi:10.1080/15248370701202356
- Sokol, B. W., Müller, U., Carpendale, J. I. M., Young, A., & Iarocci, G. (2010). *Self- and Social-Regulation: The Development of Social Interaction, Social Understanding, and Executive Functions*. Oxford: Oxford University Press.
- Sommerville, J. A., Hildebrand, E. A., & Crane, C. C. (2008). Experience matters: The impact of doing versus watching on infants' subsequent perception of tool-use events. *Developmental Psychology, 44*(5), 1249–1256. doi:10.1037/a0012296
- Sommerville, J. A., & Woodward, A. L. (2005). Pulling out the intentional structure of action: the relation between action processing and action production in infancy. *Cognition, 95*(1), 1–30. doi:10.1016/j.cognition.2003.12.004
- Sommerville, J. A., Woodward, A. L., & Needham, A. (2005). Action experience alters 3-month-old infants' perception of others' actions. *Cognition, 96*(1), B1–B11. doi:10.1016/j.cognition.2004.07.004
- Sowell, E. R., Peterson, B. S., Thompson, P. M., Welcome, S. E., Henkenius, A. L., & Toga, A. W. (2003). Mapping cortical change across the human life span. *Nature Neuroscience, 6*(3), 309–315. doi:10.1038/nn1008
- Spelke, E. S. (2000). Core Knowledge. *American Psychologist, 55*(11), 1233–1243. doi:10.1037/0003-066X.55.11.1233
- Spelke, E. S., & Kinzler, K. D. (2007). Core knowledge. *Developmental Science, 10*(1), 89–96. doi:10.1111/j.1467-7687.2007.00569.x
- Spelke, E. S., Phillips, A., & Woodward, A. L. (1995). Infants' knowledge of object motion and human action. In D. Sperber, D. Premack, & A. J. Premack (Eds.), *Causal cognition: A multidisciplinary debate* (pp. 44–78). New York: Clarendon Press/Oxford University Press.
- St Amant, R., & Horton, T. E. (2008). Revisiting the definition of animal tool use. *Animal Behaviour, 75*(4), 1199–1208. doi:10.1016/j.anbehav.2007.09.028
- Stelzer, F., Mazzoni, C. C., & Cervigni, M. A. (2014). Cognitive models of executive functions development. Methodological limitations and theoretical challenges. *Anales de Psicología, 30*(1), 329–336. doi:10.6018/analesps.30.1.139251
- Sternberg, R. J. (1977). Component processes in analogical reasoning. *Psychological Review, 84*(4), 353–378. doi:10.1037//0033-295X.84.4.353
- Stevens, J. R., Rosati, A. G., Ross, K. R., & Hauser, M. D. (2005). Will Travel for Food: Spatial Discounting in Two New World Monkeys. *Current Biology, 15*(20), 1855–1860. doi:10.1016/j.cub.2005.09.016
- Stevenson, C. E., Heiser, W. J., & Resing, W. C. M. (2013). Working memory as a moderator of training and transfer of analogical reasoning in children. *Contemporary Educational Psychology, 38*(3), 159–169. doi:10.1016/j.cedpsych.2013.02.001

- Strommen, E. A. (1973). Verbal Self-Regulation in a Children's Game: Impulsive Errors on "Simon Says." *Child Development*, *44*(4), 849–853. doi:10.2307/1127737
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, *18*(6), 643–662. doi:10.1037/h0054651
- Stuss, D. T. (2011). Functions of the frontal lobes: Relation to executive functions. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *17*(5), 759–765. doi:10.1017/S1355617711000695
- Stuss, D. T., & Alexander, M. P. (2000). Executive functions and the frontal lobes: a conceptual view. *Psychological Research*, *63*(3-4), 289–98. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11004882>
- Taylor, A., Hunt, G. R., Medina, F. S., & Gray, R. D. (2009). Do new caledonian crows solve physical problems through causal reasoning? *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *276*, 247–254. doi:10.1098/rspb.2008.1107
- Taylor, A., Miller, R., & Gray, R. D. (2012). New Caledonian crows reason about hidden causal agents. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *109*(40), 16389–16391. doi:10.1073/pnas.1208724109
- Taylor, A., Roberts, R., Hunt, G., & Gray, R. (2009). Causal reasoning in New Caledonian crows: Ruling out spatial analogies and sampling error. *Communicative & Integrative Biology*, *2*(4), 311–312. doi:10.1098/rspb.2008.1107.crows
- Tellegen, P. J., Laros, J. A., & Petermann, F. (2008). *Non-verbaler Intelligenztest (SON-R 2½-7)*. Göttingen: Hogrefe.
- Tennie, C., Call, J., & Tomasello, M. (2009). Ratcheting up the ratchet: on the evolution of cumulative culture. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London: Series B, Biological Sciences*, *364*(1528), 2405–2415. doi:10.1098/rstb.2009.0052
- Thelen, E. (2000). Grounded in the World: Developmental Origins of the Embodied Mind. *Infancy*, *1*(1), 3–28. doi:10.1207/S15327078IN0101_02
- Thibaut, J.-P., French, R., & Vezneva, M. (2008). Analogy-Making in Children: The Importance of Processing Constraints. *Proceedings of the Thirtieth Annual Cognitive Science Society Conference*, 475–480. Retrieved from <http://leadserv.u-bourgogne.fr/en/publications/000526-analogy-making-in-children-the-importance-of-processing-constraints>
- Thibaut, J.-P., French, R., & Vezneva, M. (2010). The development of analogy making in children: cognitive load and executive functions. *Journal of Experimental Child Psychology*, *106*(1), 1–19. doi:10.1016/j.jecp.2010.01.001
- Thüring, M. (1991). *Probabilistisches Denken in kausalen Modellen*. Weinheim: Psychologie Verlag.
- Tomasello, M. (1998). Uniquely primate, uniquely human. *Developmental Science*, *1*(1), 1–30. doi:10.1111/1467-7687.00002
- Tomasello, M. (2001). Cultural Transmission: A View from Chimpanzees and Human Infants. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, *32*(2), 135–146. doi:10.1177/0022022101032002002

- Tomasello, M. (2010). Human Culture in Evolutionary Perspective. In M. J. Gelfand, C.-Y. Chiu, & Y.-Y. Hong (Eds.), *Advances in Culture and Psychology: Volume 1* (pp. 5–52). Oxford Scholarship. doi:10.1093/acprof:oso/9780195380392.003.0001
- Träuble, B. (2004). *Die Bedeutung von Kausalwahrnehmung für den frühen Wissenserwerb: Neue Befunde aus der Säuglingsforschung*. Berlin: Logos Verlag.
- Träuble, B., & AlJanabi, F. (June, 2012). *Causal reasoning in infants*. Poster presented at the 18. International Conference on Infant Studies, ICIS. Minneapolis, Minnesota.
- Träuble, B., Babocsai, L., & Pauen, S. (2008). Preverbal categorization. The role of real-world experience. In F. Columbus (Ed.), *Cognitive Psychology Research Developments*. Hauppauge (NY): Novascience Publisher.
- Träuble, B., & Pauen, S. (2007). The role of functional information for infant categorization. *Cognition*, 105(2), 362–379. doi:10.1016/j.cognition.2006.10.003
- Träuble, B., & Pauen, S. (2011). Cause or effect: what matters? How 12-month-old infants learn to categorize artifacts. *The British Journal of Developmental Psychology*, 29, 357–374. doi:10.1348/026151009X479547
- Träuble, B., Scheel, A., Steinmayr, R., & Dullstein, M. (submitted). Inferring Interventions from observation: causal reasoning in infancy.
- Tunteler, E., & Resing, W. C. M. (2002). Spontaneous analogical transfer in 4-year-olds: a microgenetic study. *Journal of Experimental Child Psychology*, 83(3), 149–66. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12457858>
- Tunteler, E., & Resing, W. C. M. (2007). Change in Spontaneous Analogical Transfer in Young Children: A Microgenetic Study. *Infant and Child Development*, 94, 71–94. doi:10.1002/icd.505
- Turner, M. (1988). Categories and analogies. In *Analogical Reasoning: Perspectives of Artificial Intelligence, Cognitive Science, and Philosophy* (pp. 3–24). Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academics Publishers.
- Tversky, B., & Hemenway, K. (1984). Objects, Parts, and Categories. *Journal of Experimental Psychology: General*, 113(2), 169–193. doi:10.1037/0096-3445.113.2.169
- Tzuriel, D., & George, T. (2009). Improvement of analogical reasoning and academic achievements by the Analogical Reasoning Programme (ARP). *Educational and Child Psychology, Reasoning in Children and Adolescents*, 26(3), 71–94. Retrieved from http://www.researchgate.net/publication/256456592_Tzuriel_George_2009_ARP/file/72e7e522c4b64679e4.pdf
- Uzgiris, I. C., & Hunt, J. M. (1975). *Assessment in Infancy: Ordinal Scales of Psychological Development*. Urbana: University of Illinois Press.
- Vaesen, K. (2012). The cognitive bases of human tool use. *The Behavioral and Brain Sciences*, 35(4), 203–262. doi:10.1017/S0140525X11001452

- Valenza, E., Simion, F., Cassia, V. M., Umiltà, C., & Padova, U. (1996). Face Preference at Birth. *Journal of Experimental Child Psychology*, 22(4), 892–903. doi:10.1037/0096-1523.22.4.892
- Van der Ven, S. H. G., Kroesbergen, E. H., Boom, J., & Leseman, P. P. M. (2012). The development of executive functions and early mathematics: a dynamic relationship. *The British Journal of Educational Psychology*, 82, 100–119. doi:10.1111/j.2044-8279.2011.02035.x
- Van der Ven, S. H. G., van der Maas, H. L. J., Straatemeier, M., & Jansen, B. R. J. (2013). Visuospatial working memory and mathematical ability at different ages throughout primary school. *Learning and Individual Differences*, 27, 182–192. doi:10.1016/j.lindif.2013.09.003
- Van Lawick-Goodall, J. (1968). The behaviour of free-living chimpanzees in the Gombe Stream Reserve. *Animal Behaviour Monographs*, 1(3), 161–311. doi:10.1016/S0066-1856(68)
- Van Lawick-Goodall, J. (1970). Tool-using in primates and other vertebrates. In D. S. Lehrman, R. A. Hinde, & E. Shaw (Eds.), *Advances in the study of behaviour*, Vol. 3 (pp. 195–249). New York: Academic Press.
- Visalberghi, E., & Addessi, E. (2013). Selectivity on Stone Tool Use by Wild Bearded Capuchin Monkeys - Field Observations and Experimental Evidence. *Nova Acta Leopoldina NF*, 111(380), 191–204. Retrieved from http://www.ip.usp.br/ethocebus/arquivos/Visalberghi_Addessi_2013_Nova_acta_L_light.pdf
- Visalberghi, E., & Fragaszy, D. M. (2006). What is challenging about tool use? The capuchin's perspective. In E. A. Wasserman & T. R. Zentall (Eds.), *Comparative cognition: Experimental explorations of animal intelligence* (pp. 529–552). New York: Oxford University Press.
- Visalberghi, E., & Fragaszy, D. M. (2012). What Is Challenging About Tool Use? The Capuchin's Perspective? In T. R. Zentall & E. A. Wasserman (Eds.), *Comparative Cognition: Experimental Explorations of Animal Intelligence* (pp. 777–799). Oxford University Press.
- Visalberghi, E., & Fragaszy, D. M. (2013). Stone-tool use by wild capuchin monkeys. In C. M. Sanz, J. Call, & C. Boesch (Eds.), *Tool Use in Animals* (pp. 203–222). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Visalberghi, E., Fragaszy, D. M., Izar, P., & Ottoni, E. B. (2005). Terrestriality and tool use. *Science*, 308, 951–952. doi:10.1126/science.308.5724.951c
- Visalberghi, E., & Limongelli, L. (1994). Lack of comprehension of cause-effect relations in tool-using capuchin monkeys (*Cebus apella*). *Journal of Comparative Psychology*, 108(1), 15–22. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8174341>
- Visalberghi, E., & Limongelli, L. (1996). Acting and understanding: Tool use revisited through the minds of the capuchin monkeys. In A. Russon, K. Bard, & S. Parker (Eds.), *Reaching into thought. The minds of the great apes*. (pp. 57–79). Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Visalberghi, E., & Trinca, L. (1989). Tool Use in Capuchin Monkeys: Distinguishing Between Performing and Understanding. *Primates*, 30(4), 511–521. doi:10.1007/BF02380877

- Voigt, B., Pietz, J., Pauen, S., Kliegel, M., & Reuner, G. (2012). Cognitive development in very vs. moderately to late preterm and full-term children: Can effortful control account for group differences in toddlerhood? *Early Human Development*, *88*(5), 307–313. doi:10.1016/j.earlhumdev.2011.09.001
- Völter, C. J., & Call, J. (2014). The cognitive underpinnings of flexible tool use in great apes. *Journal of Experimental Psychology: Animal Learning and Cognition*. doi:10.1037/xan0000025
- Von Schlippe, A., & Schweitzer, J. (2007). *Lehrbuch der systemischen Therapie und Beratung*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Walker, C. M., & Gopnik, A. (2014). Toddlers infer higher-order relational principles in causal learning. *Psychological Science*, *25*(1), 161–169. doi:10.1177/0956797613502983
- Wanless, S. B., McClelland, M. M., Acock, A. C., Ponitz, C. C., Son, S.-H., Lan, X., ... Li, S. (2011). Measuring behavioral regulation in four societies. *Psychological Assessment*, *23*(2), 364–78. doi:10.1037/a0021768
- Want, S. C., & Harris, P. L. (2001). Learning from Other People's Mistakes: Causal Understanding in Learning to Use a Tool. *Child Development*, *72*(2), 431–443. doi:10.1111/1467-8624.00288
- Want, S. C., & Harris, P. L. (2002). How do children ape? Applying concepts from the study of non-human primates to the developmental study of “imitation” in children. *Developmental Science*, *5*(1), 1–14. doi:10.1111/1467-7687.00194
- Watson, J. B. (1913). Psychology as the behaviorist views it. *Psychological Review*, *20*(2), 158–177. doi:10.1037/h0074428
- Weir, A., & Kacelnik, A. (2006). A New Caledonian crow (*Corvus moneduloides*) creatively re-designs tools by bending or unbending aluminium strips. *Animal Cognition*, *9*(4), 317–334. doi:10.1007/s10071-006-0052-5
- Westergaard, G. C., & Fragaszy, D. M. (1987). The manufacture and use of tools by capuchin monkeys (*Cebus apella*). *Journal of Comparative Psychology*, *101*(2), 159–168. doi:10.1037/0735-7036.101.2.159
- White, P. A. (1988). Causal processing: Origins and development. *Psychological Bulletin*, *104*(1), 36–52. doi:10.1037//0033-2909.104.1.36
- White, P. A. (1990). Ideas about causation in philosophy and psychology. *Psychological Bulletin*, *108*(1), 3–18. doi:10.1037//0033-2909.108.1.3
- Wiebe, S. A., Espy, K. A., & Charak, D. (2008). Using confirmatory factor analysis to understand executive control in preschool children: I. Latent structure. *Developmental Psychology*, *44*(2), 575–587. doi:10.1037/0012-1649.44.2.575
- Wiebe, S. A., Sheffield, T., Nelson, J. M., Clark, C. A. C., Chevalier, N., & Espy, K. A. (2011). The structure of executive function in 3-year-olds. *Journal of Experimental Child Psychology*, *108*(3), 436–352. doi:10.1016/j.jecp.2010.08.008

- Wildes, J. E., Forbes, E. E., & Marcus, M. D. (2014). Advancing research on cognitive flexibility in eating disorders: the importance of distinguishing attentional set-shifting and reversal learning. *The International Journal of Eating Disorders*, *47*(3), 227–230. doi:10.1002/eat.22243
- Wilkinson, A., Kuenstner, K., Mueller, J., & Huber, L. (2010). Social learning in a non-social reptile (*Geochelone carbonaria*). *Biology Letters*, *6*(5), 614–616. doi:10.1098/rsbl.2010.0092
- Willatts, P. (1984). The Stage IV infant's solution of problems requiring the use of supports. *Infant Behavior and Development*, *7*, 125–134. doi:10.1016/S0163-6383(84)80053-3
- Willatts, P. (1990). Development of Problem-Solving Strategies in Infancy. In D. Bjorklund (Ed.), *Children's Strategies: Contemporary Views of Cognitive Development* (pp. 23–66). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Willatts, P. (1999). Development of Means-End Behaviour in Young Infants: Pulling a Support to Retrieve a Distant Object. *Developmental Psychology*, *35*(3), 651–667. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10380857>
- Willoughby, M. T., Blair, C. B., Wirth, R. J., & Greenberg, M. (2010). The measurement of executive function at age 3 years: psychometric properties and criterion validity of a new battery of tasks. *Psychological Assessment*, *22*(2), 306–317. doi:10.1037/a0018708
- Woodward, A. L. (1998). Infants selectively encode the goal object of an actor's reach. *Cognition*, *69*(1), 1–34. doi:10.1016/S0010-0277(98)00058-4
- Woodward, A. L. (2003). Infants' developing understanding of the link between looker and object. *Developmental Science*, *6*(3), 297–311. doi:10.1111/1467-7687.00286
- Wynn, T., & Coolidge, F. L. (2011). The implications of the working memory model for the evolution of modern cognition. *International Journal of Evolutionary Biology*, 1–12. doi:10.4061/2011/741357
- Xu, F., & Denison, S. (2009). Statistical inference and sensitivity to sampling in 11-month-old infants. *Cognition*, *112*(1), 97–104. doi:10.1016/j.cognition.2009.04.006
- Xu, F., & Garcia, V. (2008). Intuitive statistics by 8-month-old infants. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *105*(13), 5012–2015. doi:10.1073/pnas.0704450105
- Yang, D., Sidman, J., & Bushnell, E. W. (2010). Beyond the information given: infants' transfer of actions learned through imitation. *Journal of Experimental Child Psychology*, *106*(1), 62–81. doi:10.1016/j.jecp.2009.12.005
- Younger, B. A., & Cohen, L. B. (1983). Infant Perception of Correlations among Attributes. *Child Development*, *54*, 858–867. doi:10.2307/1129890
- Younger, B. A., & Cohen, L. B. (1986). Developmental Change in Infants' Perception of Correlations among Attributes. *Child Development*, *57*, 803–815. doi:10.2307/1130356

- Yu, Y., & Kushnir, T. (2014). Social context effects in 2- and 4-year-olds' selective versus faithful imitation. *Developmental Psychology, 50*(3), 922–933. doi:10.1037/a0034242
- Zelazo, P. D. (2004). The development of conscious control in childhood. *Trends in Cognitive Sciences, 8*(1), 12–17. doi:10.1016/j.tics.2003.11.001
- Zelazo, P. D. (2006). The Dimensional Change Card Sort (DCCS): a method of assessing executive function in children. *Nature Protocols, 1*(1), 297–301. doi:10.1038/nprot.2006.46
- Zelazo, P. D., Anderson, J. E., Richler, J., Wallner-Allen, K., Beaumont, J. L., & Weintraub, S. (2013). II. NIH Toolbox Cognition Battery (CB): measuring executive function and attention. *Monographs of the Society for Research in Child Development, 78*(4), 16–33. doi:10.1111/mono.12032
- Zelazo, P. D., & Carlson, S. M. (2012). Hot and Cool Executive Function in Childhood and Adolescence: Development and Plasticity. *Child Development Perspectives, 6*(4), 354–360. doi:10.1111/j.1750-8606.2012.00246.x
- Zelazo, P. D., Carter, A., Reznick, J. S., & Frye, D. (1997). Early development of executive function: A problem-solving framework. *Review of General Psychology, 1*(2), 198–226. doi:10.1037//1089-2680.1.2.198
- 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. doi:10.1111/1467-8721.ep10774761
- Zelazo, P. D., Müller, D., Frye, U., & Marcovitch, S. (2003). The development of executive function in early childhood. *Monographs of the Society for Research in Child Development, 68*(3), 11–136. doi:10.1111/j.1540-5834.2003.06803001.x
- Zelazo, P. D., & Müller, U. (2002). Executive Function in Typical and Atypical Development. In U. Goswami (Ed.), *Blackwell Handbook of Childhood Cognitive Development* (pp. 445–469). Oxford: Blackwell. doi:10.1111/b.9780631218418.2004.00024.x
- Zhou, Q., Chen, S. H., & Main, A. (2012). Commonalities and Differences in the Research on Children's Effortful Control and Executive Function: A Call for an Integrated Model of Self-Regulation. *Child Development Perspectives, 6*(2), 112–121. doi:10.1111/j.1750-8606.2011.00176.x
- Zmyj, N., & Buttelmann, D. (2014). An integrative model of rational imitation in infancy. *Infant Behavior & Development, 37*(1), 21–28. doi:10.1016/j.infbeh.2013.10.001

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1.</i> Komplexitätsniveaus von Werkzeughandlungen	15
<i>Tabelle 2.</i> Verteilung der Probanden in Studie 1 ($N = 123$).....	110
<i>Tabelle 3.</i> Verteilung der Versuchspersonen in Studie 2 ($N = 93$).....	130
<i>Tabelle 4.</i> Korrelationen Transferleistung und Exekutiver Funktionen.....	162

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1.</i>	Phasen des Problemlöseprozesses	21
<i>Abbildung 2.</i>	Schematische Darstellung der Studie von Baillargeon, DeVos & Black (1992).....	25
<i>Abbildung 3.</i>	Verwendete Stimuli Träuble & Pauen (2007, 2011)	35
<i>Abbildung 4.</i>	Versuchsobjekte Madole et al. (1993).....	38
<i>Abbildung 5.</i>	Kausal unplausible Funktionsdemonstration Träuble & Pauen (2011).....	42
<i>Abbildung 6.</i>	Der „Blicket-Detektor“ (Gopnik & Sobel, 2000).....	51
<i>Abbildung 7.</i>	Die Trap-Tube-Aufgabe (Visalberghi & Limongelli, 1994).	54
<i>Abbildung 8.</i>	Trainings- und Transferwerkzeuge (Brown, 1990).....	71
<i>Abbildung 9.</i>	Drei-Faktoren-Modell und revidiertes Modell (Miyake & Friedman, 2012).	86
<i>Abbildung 10.</i>	Versuchsapparatur (Toolbox).....	111
<i>Abbildung 11.</i>	Stabssets für die Trainings- und Transferphase.....	112
<i>Abbildung 12.</i>	Versuchsaufbau aus Sicht des Kindes	113
<i>Abbildung 13.</i>	Wahlhäufigkeiten aller Stäbe im 1. und 7. Trainingsdurchgang.....	117
<i>Abbildung 14.</i>	Wahlhäufigkeiten aller Stäbe im 1. Transferdurchgang	119
<i>Abbildung 15.</i>	Verlaufskurve der Wahlhäufigkeiten aller Stäbe in der Transferphase.....	122
<i>Abbildung 16.</i>	Wahlhäufigkeiten des funktionalen Stabes im ersten Trainingsdurchgang.....	134
<i>Abbildung 17.</i>	Verlaufskurve der Wahlhäufigkeiten aller Stäbe in der Trainingsphase	135
<i>Abbildung 18.</i>	Häufigkeit des Erreichens des Lernkriteriums für alle Altersgruppen	136
<i>Abbildung 19.</i>	Verlaufskurve der Wahlhäufigkeiten des langen Stabes in der Trainingsphase (Lerner vs. Nicht-Lerner)	137
<i>Abbildung 20.</i>	Reaktionen auf positive oder negative Rückmeldung in der Trainingsphase	138
<i>Abbildung 21.</i>	Wahlhäufigkeit der gleichen Position in der Trainingsphase.	139
<i>Abbildung 22.</i>	Wahlhäufigkeiten im 1. Transferdurchgang (22 vs. 24 Monate)	141
<i>Abbildung 23.</i>	Verlaufskurve der Wahlhäufigkeiten aller Stäbe in der Transferphase.....	142
<i>Abbildung 24.</i>	Materialien der Arbeitsgedächtnisaufgabe „Spielzeugsuche“.	153
<i>Abbildung 25.</i>	Aufbau der Inhibitionsaufgabe „Verbotener Kekse“	154
<i>Abbildung 26.</i>	Materialien der Set-Shifting-Aufgabe „Sortierspiel Form & Farbe“	156
<i>Abbildung 27.</i>	Verlaufskurve der Wahlhäufigkeiten aller Stäbe (Training und Transfer)	161



UNIVERSITÄT
HEIDELBERG
ZUKUNFT
SEIT 1386

**FAKULTÄT FÜR VERHALTENS-
UND EMPIRISCHE KULTURWISSENSCHAFTEN**

**Promotionsausschuss der Fakultät für Verhaltens- und Empirische Kulturwissenschaften
der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg**
**Doctoral Committee of the Faculty of Behavioural and Cultural Studies, of Heidelberg
University**

**Erklärung gemäß § 8 Abs. 1 Buchst. b) der Promotionsordnung der Universität
Heidelberg für die Fakultät für Verhaltens- und Empirische Kulturwissenschaften**

**Declaration in accordance to § 8 (1) b) and § 8 (1) c) of the doctoral degree regulation of
Heidelberg University, Faculty of Behavioural and Cultural Studies**

Ich erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertation selbstständig angefertigt, nur die angegebenen
Hilfsmittel benutzt und die Zitate gekennzeichnet habe.

I declare that I have made the submitted dissertation independently, using only the specified tools
and have correctly marked all quotations.

**Erklärung gemäß § 8 Abs. 1 Buchst. c) der Promotionsordnung der Universität
Heidelberg für die Fakultät für Verhaltens- und Empirische Kulturwissenschaften**

Ich erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertation in dieser oder einer anderen Form nicht
anderweitig als Prüfungsarbeit verwendet oder einer anderen Fakultät als Dissertation vorgelegt
habe.

I declare that I did not use the submitted dissertation in this or any other form as an examination
paper until now and that I did not submit it in another faculty.

Vorname Nachname

First name Family name

Datum, Unterschrift

Date, Signature
