

# **Frühkindliche Kognition**

## Stimuluseffekte im Erwartungs-Induktions- Paradigma und Prognose der späteren Intelligenz

Dipl.-Psych. Manuel Teubert

2014

Synopse zur kumulativen Dissertation zur Erlangung des  
Doktorgrades der Naturwissenschaften  
an der Fakultät für Psychologie und Sportwissenschaften der  
**Universität Bielefeld**

Betreuer und Erstgutacher: Prof. Dr. Arnold Lohaus

Universität Bielefeld

Zweitgutachterin:

Prof. Dr. Gudrun Schwarzer

Justus-Liebig-Universität Gießen

# Inhaltsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Zusammenfassung   | 1  |
| 1. Einleitung .....   | 6  |
| 2. Frühkindliche Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit und Intelligenz .....                       | 8  |
| 3. Das Erwartungs-Induktions-Paradigma .....  | 11 |
| 3.1 Blickverhalten im Erwartungs-Induktions-Paradigma .....   | 13 |
| 3.2 Bewertung des Blickverhaltens im Erwartungs-Induktions-Paradigma .....                            | 15 |
| 3.3 Indizes der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit im Erwartungs-<br>Induktions-Paradigma ..... | 17 |
| 3.3.1 Antizipatorische Sakkaden als Indikator des Lernerfolgs .....                                   | 17 |
| 3.3.2 Reaktive Sakkaden als Indikator des Lernerfolgs .....   | 18 |
| 3.4 Aufmerksamkeit im Erwartungs-Induktions-Paradigma .....   | 20 |
| 3.4.1 Komponenten der frühkindlichen Aufmerksamkeit .....   | 20 |
| 3.4.2 Indizes der Aufmerksamkeit im Erwartungs-Induktions-Paradigma .....                             | 21 |
| 3.5 Zusammenhänge der Indizes im Erwartungs-Induktions-Paradigma .....                                | 23 |
| 3.6 Reliabilitäten der Indizes im Erwartungs-Induktions-Paradigma .....                               | 25 |
| 3.7 Entwicklung der Indizes im Erwartungs-Induktions-Paradigma .....                                  | 26 |
| 3.7.1 Entwicklung der Indizes auf Basis antizipatorischer Sakkaden .....                              | 26 |
| 3.7.2 Entwicklung der Indizes auf Basis reaktiver Sakkaden .....                                      | 28 |
| 3.7.3 Entwicklung der Indizes der Aufmerksamkeit .....  | 30 |
| 3.8. Stimulusmaterial im Erwartungs-Induktions-Paradigma .....  | 31 |
| 3.8.1 Der Einfluss der Ausbildung von Erwartungen über den Stimulus .....                             | 32 |
| 3.8.2 Der Einfluss der Bedeutungshaltigkeit des Stimulusmaterials .....                               | 33 |
| 3.8.3 Die Verarbeitung von Greebles und Gesichtern .....  | 36 |
| 3.8.4 Der Einfluss der kulturellen Vertrautheit von Gesichtern .....                                  | 37 |
| 3.8.5 Fazit zum Stimulusmaterial im Erwartungs-Induktions-Paradigma .....                             | 38 |
| 4. Intelligenzprognose durch das Erwartungs-Induktions-Paradigma .....                                | 39 |
| 4.1 Ansätze zur Verbesserung der Intelligenzprognose .....  | 40 |
| 4.2 Stimulusmaterial und Intelligenzprognose im Erwartungs-Induktions-<br>Paradigma .....             | 42 |
| 5. Fazit und Implikationen für die weitere Forschung .....  | 46 |
| 6. Literatur .....  | 50 |
| Überblick über die Schriften des Kumulus .....  | 62 |
| Erklärung .....   | 63 |

## Zusammenfassung

Der Mensch kommt mit kognitiven Fähigkeiten auf die Welt, die ihm ein schnelles Kennenlernen seiner Umwelt ermöglichen. Solche kognitiven Komponenten sind die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit, das Gedächtnis und die Aufmerksamkeit. Diese Komponenten repräsentieren Basisfähigkeiten, die im weiteren Entwicklungsverlauf entstehende komplexere Komponenten beeinflussen. Jenseits des frühen Kindesalters gilt die Intelligenz als Maß für die generelle kognitive Leistungsfähigkeit des Menschen. Intelligenz steht mit Schul-, Ausbildungs- und Berufserfolg im Zusammenhang. Eine niedrigere Intelligenz geht zudem mit psychischen Auffälligkeiten im Kindesalter einher. Eine frühe Intelligenzprognose bietet die Möglichkeit, Einschränkungen schon recht früh erkennen zu können und betroffenen Kindern rechtzeitig eine Förderung zukommen zu lassen. Die Möglichkeit einer frühen Prognose der Intelligenz stellt damit einen relevanten Aspekt in der Forschung und perspektivisch auch für die Praxis dar.

Bei der *ersten Schrift des Kumulus* handelt es sich um einen Übersichtsartikel zur Prognose der späteren Intelligenz auf der Basis von Lernleistungen in den frühkindlichen Untersuchungsmethoden. Bei diesen Methoden handelt es sich um den Visuellen Paarvergleich, das Habituations-Dishabituations-Paradigma und das Erwartungs-Induktions-Paradigma. In diesem Artikel wird dargestellt, dass die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit als frühkindliche intellektuelle Leistungsfähigkeit angesehen wird. Sie bedingt die Lernleistungen in diesen Untersuchungsmethoden und stellt den Indikator für die spätere Intelligenz dar. Die Prognose der Intelligenz auf der Basis von frühkindlichen Untersuchungsmethoden ist jedoch als moderat einzuschätzen. Dies wird unter anderem mit den geringen Reliabilitäten bei der Messung der kognitiven Leistungsfähigkeit in der frühen Kindheit begründet. Als ein Einflussfaktor auf die Messung der frühkindlichen Leistungsfähigkeit kann das eingesetzte Stimulusmaterial betrachtet werden, da Lernleistungen auch in Abhängigkeit der für die Verarbeitung des Stimulusmaterials benötigten Ressourcen variieren können.

Während in der *ersten Schrift des Kumulus* noch alle drei frühkindlichen Untersuchungsmethoden dargestellt werden, liegt der Fokus der empirischen Studien der *zweiten und dritten Schrift des Kumulus* auf dem Erwartungs-Induktions-Paradigma. Bei dieser Untersuchungsmethode werden dem Säugling bestimmte räumlich-zeitliche Sequenzen auf einem Bildschirm präsentiert. So erscheinen die präsentierten Stimuli beispielsweise immer abwechselnd auf der rechten und linken Seite des Bildschirms. Ob ein Säugling eine solche Sequenzregel lernt, kann über die Veränderung des Blick-

verhaltens auf die präsentierten Stimuli im Verlauf des Versuchs überprüft werden. Der Säugling sollte beim Verständnis der Sequenzregel immer schneller auf die Seite blicken, auf welcher der nächste Stimulus erscheinen wird, was zur Beschleunigung seiner Reaktionszeit und idealerweise auch zu antizipatorischen Reaktionen auf die Stimuli führt. Als Indikatoren der frühkindlichen Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit gelten somit die Reaktionszeit sowie die Leistungen auf der Basis antizipatorischer Reaktionen. Als Indikator der Aufmerksamkeit bzw. Unaufmerksamkeit gilt sogenanntes aufgabenrelevantes bzw. nicht aufgabenrelevantes Verhalten, wobei z.B. das Nichtbeachten des Bildschirms von Seiten des Säuglings als nicht aufgabenrelevantes Verhalten zu bezeichnen ist.

In der *zweiten Schrift des Kumulus* wurde der Einfluss der Bedeutungshaltigkeit des Stimulusmaterials auf die frühkindlichen Lernleistungen und die Aufmerksamkeit im Erwartungs-Induktions-Paradigma untersucht. Die längsschnittliche Stichprobe dieser Studie bestand aus 3 und 6 Monate alten Säuglingen. Den Säuglingen wurden entweder kulturell vertraute weibliche Gesichter als bedeutungsvolle Stimuli oder Greebles als bedeutungslose Stimuli präsentiert. Beide Stimulusarten weisen den gleichen physikalischen Gehalt auf, unterscheiden sich jedoch in der biologischen Relevanz für die Säuglinge. Die Bedeutungshaltigkeit erwies sich als positive Einflussgröße auf die antizipatorischen Leistungen und die Aufmerksamkeit. Zusätzlich wurde analysiert, ob sich die antizipatorischen Leistungen auf Basis des Stimulusmaterials und unabhängig von der Aufmerksamkeit erhöhten. Während sich die Aufmerksamkeit zu 3 und auch zu 6 Monaten als stärkste Einflussgröße auf die Anzahl der Antizipationen erwies, hatte der Einsatz von bedeutungshaltigen Stimuli einen zusätzlichen Effekt auf die Lernleistung. Dieser Effekt zeigte sich jedoch nur im Alter von 6 Monaten. Die Ergebnisse lassen vermuten, dass bedeutungshaltiges Stimulusmaterial die Aufmerksamkeit im Säuglingsalter erhöht und dies zu einer Verbesserung der Informationsaufnahme führt. Die Informationsaufnahme betrifft dann nicht nur Merkmale des Stimulus wie z.B. seine Gestalt oder seine Bestandteile, sondern auch Informationen der mit ihm verbundenen Lernaufgabe.

In der *dritten Schrift des Kumulus* wurde der Effekt des Stimulusmaterials bei 9 Monate alten Säuglingen untersucht. Ein signifikanter Effekt zeigt sich jedoch nicht. Als Grund kann zum einen die gesteigerte Leistungsfähigkeit von 9 Monate alten Säuglingen im Gegensatz zu 3 und 6 Monate alten Säuglingen betrachtet werden, welche zu einer Verbesserung der Lernfähigkeit führt und so auch eine geringere Ansprache auf erleichternde Einflüsse mit sich bringen könnte. Zum anderen schwächt sich die Präfe-

renz für Gesichter in der frühen Kindheit wieder ab, so dass vermutet werden kann, dass sich auch die aufmerksamkeitssteigernde Wirkung von Gesichtern mit steigendem Alter verringert.

Die Ergebnisse der beiden empirischen Studien legen nahe, dass die Verwendung von verschiedenen Stimuli bei der Präsentation einer Sequenz auch als problematisch betrachtet werden kann. Wenn sich das verwendete Stimulusmaterial in der Verarbeitungsschwierigkeit oder seinem aufmerksamkeitssteigernden Gehalt unterscheidet, können Variationen in den Leistungen auftreten, welche sich dann wiederum auch negativ auf die Reliabilität und damit auf die prognostische Validität auswirken könnten. Stimulusbedingte Leistungsunterschiede können jedoch nicht nur vom Stimulus selbst, sondern auch von einer Interaktion zwischen dem Stimulus und dem Alter der untersuchten Säuglinge abhängen. Es kann daher vermutet werden, dass auch Ergebnisse zum Entwicklungsverlauf der frühkindlichen kognitiven Leistungsfähigkeit von Stimuluseffekten abhängen.

Neben Effekten des Stimulusmaterials im Erwartungs-Induktions-Paradigma stellt die Prognose des späteren IQ auf Basis der Leistungsindizes einen weiteren wichtigen Aspekt dieser Dissertationsschrift dar. Die Zusammenhänge zwischen der frühkindlichen Leistungsfähigkeit im Erwartungs-Induktions-Paradigma und der späteren Intelligenz sind zwar deutlich höher als bei der Verwendung von allgemeinen Entwicklungstests, liegen jedoch nur in einem moderaten Bereich. In der *ersten Schrift des Kumulus* werden nicht nur Einflussfaktoren auf die Reliabilität der Messung, sondern auch Möglichkeiten zur Verbesserung der Prognose der späteren Intelligenz benannt. Dies könnte beispielsweise die Verwendung der Minderungskorrektur bzw. der doppelten Minderungskorrektur zur Annäherung an die wahren Korrelationen sein. Auch die Kombination von Leistungsindizes aus verschiedenen Untersuchungsmethoden oder das Zusammenfassen von Leistungen in einer Untersuchungsmethode über verschiedene Altersstufen hinweg stellen solche Verbesserungsmöglichkeiten dar. Auch das Stimulusmaterial kann im Kontext der Intelligenzprognose als Einflussgröße betrachtet werden.

Die Hauptfragestellung der *dritten Schrift des Kumulus* betrifft den Einfluss des im Erwartungs-Induktions-Paradigma eingesetzten Stimulusmaterials auf die Prognose der späteren Intelligenz. Dabei wurde der IQ der im Alter von 9 Monaten mit dem Erwartungs-Induktions-Paradigma getesteten Säuglinge im Alter von 3 Jahren erhoben. Als Stimulusmaterial kamen hier wie in der *zweiten Schrift des Kumulus* kulturell vertraute weibliche Gesichter und Greebles zum Einsatz. Es kann vermutet werden, dass

durch verschiedene Strategien der Verarbeitung der beiden Stimulusarten auch die Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses unterschiedlich beansprucht werden. Das Arbeitsgedächtnis kann als System verstanden werden, welches eine zentrale Rolle in der Informationsverarbeitung spielt und dessen Kapazität begrenzt ist. Die individuelle Kapazität des Arbeitsgedächtnisses hängt dabei stark mit dem IQ zusammen. Bei kulturell vertrauten weiblichen Gesichtern sollte es bedingt durch die holistische Verarbeitung zu einer Reduktion der Komplexität des Verarbeitungsprozesses kommen, was zu einer geringeren Belastung der Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses führt. Dieser Vorteil liegt bei der analytischen Verarbeitung von Greebles nicht vor. Deshalb sollte die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses bei Greebles stärker beansprucht werden und somit weniger Ressourcen zum Lernen der räumlich-zeitlichen Aspekte der Sequenz zur Verfügung stehen. Bei einer hohen Kapazität des Arbeitsgedächtnisses sollten die Säuglinge beim Lernen mit Greebles jedoch eher in der Lage sein, diese Einschränkungen zu kompensieren als bei einer geringeren Kapazität. Daher sollte bei der Nutzung von Greebles als Stimulusmaterial ein starker Zusammenhang zwischen dem Lernen im Erwartungs-Induktions-Paradigma und der späteren Intelligenz resultieren. Beim Einsatz von Gesichtern sollte die Aufgabe weniger Herausforderungen an die Verarbeitungsressourcen stellen und somit auch bei einer geringeren Arbeitsgedächtniskapazität gelingen. Dies sollte zu einem geringeren Zusammenhang mit der späteren Intelligenz führen. Die Ergebnisse dieser Studie belegen keine Prädiktion des späteren IQ, wenn beide Versuchsbedingungen (Gesichter versus Greebles) zusammengefasst werden. Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass die Zusammenhänge zur Intelligenz maßgeblich durch das verwendete Stimulusmaterial bestimmt werden. Es konnte eine signifikante Prädiktion des späteren IQs bei der Verwendung von Greebles, jedoch nicht bei der Verwendung von kulturell vertrauten weiblichen Gesichtern nachgewiesen werden. Die Studie zeigt, dass das Stimulusmaterial eine relevante Einflussgröße für die Intelligenzprognose durch die Lernleistungen im Erwartungs-Induktions-Paradigma darstellen kann.

Die Ergebnisse unterstreichen, dass frühkindliche Untersuchungsmethoden wie das Erwartungs-Induktions-Paradigma die Möglichkeit zur Vorhersage der späteren Intelligenz bieten. Neuronale Veränderungen, Aufmerksamkeitsfluktuationen, motivationale Aspekte auf Seiten der untersuchten Säuglinge, aber auch Merkmale der Aufgabe, wie das eingesetzte Stimulusmaterial, stellen relevante Einflussfaktoren auf die Messung der frühkindlichen kognitiven Leistungsfähigkeit im Erwartungs-Induktions-Paradigma dar. Auch die Komplexität der Sequenz und eine damit regulierbare Aufgabenschwierigkeit können mit steigendem Alter der Säuglinge einen zunehmend wichti-

gen Faktor für die Lernleistungen und auch die Prognose der späteren Intelligenz darstellen. Die Einbeziehung der Wirkung des Stimulusmaterials ist in diesem Kontext ebenfalls als relevant anzusehen. Wie diese verschiedenen Faktoren zusammenwirken, kann von besonderem Interesse für künftige Forschungsvorhaben sein.

# 1. Einleitung

Kommt der Mensch auf die Welt, so konnte er bis zu dieser Zeit nur wenige Erfahrungen mit seiner Umwelt machen. Jedoch kommt der Mensch mit kognitiven Fähigkeiten auf die Welt, die ihm ein schnelles Kennenlernen seiner Umwelt ermöglichen (vgl. Pauen, 2006). Kognition kann als ein Sammelbegriff für mentale Prozesse bezeichnet werden, die von Wahrnehmung bis Denken reichen. Die entwicklungspsychologische Perspektive auf Kognition bezieht sich dementsprechend auf die Veränderung solcher mentaler Prozesse über die Lebensspanne (vgl. Lohaus & Vierhaus, 2013). Auf die frühe Kindheit<sup>1</sup> Bezug nehmend, können Kognitionen nach Goswami (2001) als Prozesse aufgefasst werden, die den Menschen dazu befähigen, Informationen über seine Umwelt zu gewinnen. Goswami (2001) folgend kann durch eine derartige Informationsaufnahme Wissen über Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge erworben werden. Dieses Wissen führt dann zum Verständnis der Umwelt. Kognitive Entwicklung bedeutet demnach die Entwicklung von Prozessen, die den Menschen in die Lage versetzen, Erkenntnisse über Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zu erwerben. Solche Prozesse sind zum Beispiel Lernen, Gedächtnis und Aufmerksamkeit (Goswami, 2001).

Ähnlich wie Goswami (2001) unterscheidet Colombo (1993, 2001) bei der Differenzierung von kognitiven Prozessen in der frühen Kindheit die Komponenten Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit, Gedächtnis und Aufmerksamkeit. Dabei ist Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit als ein der Lernleistung zugrundeliegender Faktor zu betrachten. Die Differenzierung in diese frühkindlichen Komponenten der kognitiven Leistungsfähigkeit wie auch interindividuelle Unterschiede in diesen Komponenten findet durch die empirische Forschung Unterstützung (z.B. Rose, Feldman & Jankowski, 2002, 2003, 2004, 2005). Rose, Feldman, Jankowski und Van Rossem (2005, 2008) folgend sind solche frühkindlichen kognitiven Komponenten Basisfähigkeiten, die im weiteren Entwicklungsverlauf entstehende komplexere Komponenten beeinflussen.

Goswamis (2001) Definition von Kognition im frühen Kindesalter stellt das Kennenlernen der Umwelt als eine zentrale Aufgabe in diesem Alter heraus. Es ist augenscheinlich, dass die Fähigkeit, in der Umwelt auftretende und durch Kontingenzen bedingte Regelmäßigkeiten zu erlernen, als eine wichtige Lernfähigkeit betrachtet wer-

<sup>1</sup> Der Begriff „frühes Kindesalter“ bzw. "frühe Kindheit" wird in dieser Arbeit synonym für das Neugeborenen- und das Säuglingsalter verwendet.

den kann. Diese Fähigkeit wird als umweltbasiertes Kontingenzlernen bezeichnet. Die frühkindliche individuelle Fähigkeit, umweltbasierte Kontingenzen zu erlernen, kann mit dem sogenannten Erwartungs-Induktions-Paradigma (engl. Visual Expectation Paradigm, kurz VExP) erfasst werden. Lernleistungen, die in dieser Untersuchungsmethode resultieren, liegt die individuelle Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit der Untersuchungsteilnehmer zugrunde (vgl. Canfield, Smith, Brezsnayak & Snow, 1997; Rose, Feldman, Jankowski & Caro, 2002). Auch die kognitive Komponente der Aufmerksamkeit kann als ein leistungstragender Faktor im Erwartungs-Induktions-Paradigma betrachtet werden (z.B. Teubert et al., 2012). Das Erwartungs-Induktions-Paradigma wird dementsprechend einen zentralen Aspekt dieser Synopse darstellen.

Jenseits des frühen Kindesalters gilt die Intelligenz als Maß für die generelle kognitive Leistungsfähigkeit des Menschen (Gage & Berliner, 1996). Die individuelle Fähigkeit zum abstrakten und logischen Denken, zum Problemlösen, dem Anpassen an neue Gegebenheiten in der Umwelt oder das effektive Nutzen von Erfahrungen sowie die generelle Lernfähigkeit eines Menschen sind grundlegende Merkmale der Intelligenz (vgl. Lohaus & Vierhaus, 2013). In der frühen Kindheit wird die kognitive Komponente der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit als frühkindliche intellektuelle Leistungsfähigkeit angesehen (z.B. Fagan, 2000; Slater; 1995). Die empirische Forschung konnte belegen, dass kognitive Kompetenzen in der frühen Kindheit einen Indikator für die spätere Intelligenz darstellen. Teubert, Vierhaus und Lohaus (2011) weisen zudem darauf hin, dass eine frühe Prognose der Intelligenz eine hohe praktische Relevanz aufweist. Intelligenz steht nicht nur mit Schul-, Ausbildungs- und Berufserfolg im Zusammenhang. Eine niedrigere Intelligenz geht auch mit psychischen Auffälligkeiten im Kindesalter einher. Eine frühe Prognose bietet die Möglichkeit, Einschränkungen schon recht früh erkennen zu können und betroffenen Kindern rechtzeitig eine Förderung zukommen zu lassen.

Verschiedene Untersuchungsmethoden sind jedoch mit einer unterschiedlichen prognostischen Validität verbunden. Die Intelligenz-Prognose gelingt auf der Basis von Verfahren zur Messung der frühkindlichen Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit besser als auf Basis von Skalen zur kognitiven Entwicklung aus allgemeinen Entwicklungstests. Doch auch hier ist die Prognose nur als moderat einzuschätzen. Teubert und Kollegen (2011) haben die Probleme der Untersuchungsmethoden herausgestellt und nennen Faktoren, die Einfluss auf die Messung der frühkindlichen kognitiven Kompetenzen haben können. Darunter fällt beispielsweise auch das eingesetzte Stimulusmaterial. Der Überblicksartikel von Teubert und Kollegen (2011) bildet die erste Schrift des

Kumulus dieser Dissertation. In der zweiten Schrift des Kumulus wird die Diskussion bezüglich des Stimulusmaterials aufgegriffen. Dazu wurde der Einfluss des Stimulusmaterials auf die Lernleistungen und die Aufmerksamkeit im Erwartungs-Induktions-Paradigma in der ersten Hälfte der frühen Kindheit untersucht (Teubert et al., 2012). In der dritten Schrift des Kumulus wurde der Einfluss des im Erwartungs-Induktions-Paradigma eingesetzten Stimulusmaterials bei einer Stichprobe von 9 Monate alten Säuglingen auf die Prognose der späteren Intelligenz im Alter von 3 Jahren analysiert (Teubert et al., 2014). Diese Synopse integriert damit die drei Schriften des Kumulus in einen gemeinsamen Forschungskontext.

## **2. Frühkindliche Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit und Intelligenz**

Es existieren verschiedenste Vorstellungen von dem, was Intelligenz genau ist und von ihrer Struktur (Lohaus & Vierhaus, 2013; Rost, 2009; Sternberg, 2007). Eine der ersten und heute weitgehend akzeptierte Vorstellung über die psychometrische Struktur der Intelligenz ist die Existenz eines allgemeinen Intelligenzfaktors (g-Faktor, Spearman 1927), der allen intellektuellen Fähigkeiten zugrundeliegt (z.B. Bartholomew, 2004; Carroll, 2005; Sternberg, 2007). Nach Slater (1995) stellt die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit in der frühen Kindheit einen Indikator für den g-Faktor der Intelligenz dar. Auch nach Fagan (2000) ist die individuelle Informationsverarbeitung als die zentrale intellektuelle Fähigkeit in der frühen Kindheit anzusehen (vgl. fluide Intelligenz nach Cattell, 1963). Fry und Hale (2000) definieren Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit als die Geschwindigkeit, mit der grundlegende kognitive Basisprozesse wie zum Beispiel die Identifizierung und Diskrimination von verschiedenen Reizen ablaufen. Auch über das frühe Kindesalter hinaus wird die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit als eine allgemeine und aufgabenunabhängige Leistungskomponente angesehen, die in enger Verbindung mit der Intelligenz steht (z.B. Coyle, Pillow, Snyder & Kochunov, 2001; Fry & Hale, 2000). Nach Sheppard und Vernon (2008) finden sich hohe Zusammenhänge zwischen der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit und Messungen der Intelligenz. Studien aus dem Bereich der Verhaltensgenetik deuten zudem darauf hin, dass der Verbindung der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit und dem IQ genetische Faktoren zugrunde liegen (Sheppard & Vernon, 2008).

Bis sich jedoch das entwickelt, was gemeinhin als intellektuelle Leistungsfähigkeit bezeichnet wird, also die Leistungsfähigkeiten in bestimmten Bereichen wie beispielsweise abstraktes und logisches Denken, Problemlösen oder auch mathematische, sprachliche und räumliche Fähigkeiten, muss eine solche grundlegende mentale Leistungsfähigkeit ab der Geburt einen Prozess der Reifung und Ausdifferenzierung des Gehirns durchlaufen. Auch der Erwerb spezifischer Wissensbestände im Laufe der Kindheit trägt zu diesem Entwicklungsprozess bei (z.B. Baltes, Staudinger & Lindenberger, 1999; Johnson, 2005). Teubert und Kollegen (2011) bezeichnen diese frühkindliche mentale Kompetenz deshalb als prästrukturelle Intelligenz. Diese Sichtweise steht mit Kails (2000) Annahmen in Einklang, welcher die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit als Schlüsselement von Fähigkeiten wie Denken, Schlussfolgern und Erinnern bezeichnet. Die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit beeinflusst intellektuelle Leistungen dabei auf verschiedenen Ebenen. Sie kann beispielsweise eine direkte Wirkung ausüben, indem sie die Geschwindigkeit des Abrufs von Informationen aus dem Langzeitgedächtnis beeinflusst. Sie kann jedoch auch die Verarbeitung im Arbeitsgedächtnis unterstützen. Wenn Informationen schneller verarbeitet werden können, kann der Speicher des Arbeitsgedächtnisses effektiver genutzt werden. Dies wiederum kann Einfluss auf die Bearbeitung von Problemlöseaufgaben nehmen (Fry & Hale 2000; Kail, 2000). Dabei verbessert sich die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit mit zunehmendem Alter. Diese Verbesserung steht mit neuronalen Veränderungen, wie zum Beispiel der Myelinisierung und Veränderungen der Anzahl von transienten Verbindungen im Zentralnervensystem und damit mit der Veränderung der Geschwindigkeit der neuronalen Kommunikation in Verbindung (vgl. Kail, 2000).

Die Messung der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit im frühen Kindesalter basiert in der Regel auf experimentellen Methoden, bei denen das Blickverhalten der Säuglinge als Indikator ihrer Informationsverarbeitung genutzt wird, also die Art und Weise, in der Aufmerksamkeitsressourcen auf visuell dargebotene Stimuli verteilt werden. Die drei bekanntesten Methoden zur Erfassung der frühkindlichen kognitiven Leistungsfähigkeit und zur Prognose der späteren Intelligenz sind der Visuelle Paarvergleich (engl. Visual Paired Comparison Task oder auch Fagan Test of Infant Intelligence), das Habituations-Dishabituation-Paradigma (engl. Habituation-Dishabituation-Paradigm) und das Erwartungs-Induktions-Paradigma. Allen drei genannten Untersuchungsmethoden ist gemeinsam, dass den Säuglingen visuelles Stimulusmaterial über mehrere Durchgänge hinweg präsentiert wird (vgl. Teubert, 2011). Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt auf dem Erwartungs-Induktions-Paradigma. Auf diese Untersu-

chungsmethode wird im Verlauf der Arbeit näher eingegangen. Zuvor wird jedoch kurz auf den Visuellen Paarvergleich und das Habituations-Dishabituations-Paradigma als auch auf die Prognose der Intelligenz durch diese Methoden eingegangen.

Der Visuelle Paarvergleich und das Habituations-Dishabituations-Paradigma ähneln sich dabei in der geforderten kognitiven Leistung. In beiden Aufgaben muss ein bis dahin unbekannter Stimulus enkodiert und im Gedächtnis abgespeichert werden. Dieser so gelernte Stimulus muss dann wiedererkannt und von einem neuen Stimulus differenziert werden können. Als Zeichen des Wiedererkennens und der Differenzierung des Stimulus vollzieht sich eine Änderung der Blickdauer auf die präsentierten Stimuli. Einem neuen Stimulus wird eine stärkere Aufmerksamkeit zugewandt als einem bekannten. Dies kann wie im Visuellen Paarvergleich bei der gleichzeitigen Präsentation von zuvor präsentierten und somit bekannten Stimuli und einem neuen und somit unbekanntem Stimulus geschehen, wobei die Blickdauer auf den neuen Stimulus entsprechend höher ausfallen sollte. Im Habituations-Dishabituations-Paradigma wird ein einzelner Stimulus in einer Phase der Habituation präsentiert. Das Erlernen des Stimulus wird dann von einer Abnahme der Blickzuwendung im Verlauf der Phase begleitet. Anschließend wird ein neuer und unbekannter Stimulus in der Phase der Dishabituation präsentiert und die Blickdauer steigt bei vorhandener Fähigkeit zur Identifikation und Diskriminierung wieder an. Eine höhere Blickdauer auf den unbekanntem Stimulus gilt bei beiden Untersuchungsmethoden als Indikator der Ausprägung der Neuigkeitspräferenz. Die Ausprägung dieser Neuigkeitspräferenz und die Geschwindigkeit der Abnahme der Blickzeit bei der Habituation gelten als Indikator der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit eines Säuglings und ermöglichen eine Prädiktion des späteren IQ (vgl. z.B. Kavšek, 2004a; b; McCall, 1994, McCall & Carriger, 1993).

Der Visuelle Paarvergleich und das Habituations-Dishabituations-Paradigma stellen die prominentesten Untersuchungsmethoden in der frühen Kindheit dar. Es existieren nicht nur viele empirische Studien, sondern auch Metaanalysen zur Intelligenzprognose auf der Basis des Lernerfolgs in diesen Aufgaben (z.B. Kavšek, 2004a; McCall & Carriger, 1993). Die Koeffizienten zur Prognose der späteren Intelligenz liegen jedoch überwiegend im moderaten Bereich, was insbesondere durch die zum Teil geringe Reliabilität bei der Messung der kognitiven Leistungsfähigkeit in der frühen Kindheit begründet wird. Als Einflussfaktoren auf die Reliabilität der Messung werden die neuronale Reifung, die zu einer Veränderung der Leistungsfähigkeit über das Alter hinweg führt und starke Schwankungen in der Aufmerksamkeit bei der Durchführung der Untersuchungen, der Individuen in dieser Altersgruppe noch besonders unterliegen,

angesehen. Auch das in den Versuchen genutzte Stimulusmaterial und besonders seine Variation innerhalb eines Versuchs kann einen Einfluss auf die resultierende Leistung haben (Teubert et al., 2011). Leistungen hängen nicht nur von der Verarbeitungsfähigkeit der Säuglinge ab. Unterschiedlich komplexe Stimuli werden unterschiedlich verarbeitet und so können Leistungen auch mit der für die Verarbeitung des Stimulusmaterials benötigten Ressourcen variieren (vgl. Rose, 1989).

Wie bei dem Visuellen Paarvergleich und dem Habituations-Dishabituations-Paradigma werden auch beim Erwartungs-Induktions-Paradigma inter- und intraindividuelle Unterschiede in den Lernleistungen der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit der Säuglinge zugeschrieben (Benson, Cherny, Haith & Fulker, 1993; Cardon & Fulker, 1991; DiLalla et al., 1990; Domsch, Lohaus & Thomas, 2009a; Dougherty & Haith, 1997). Das Erwartungs-Induktions-Paradigma und der zugrunde liegende Lernmechanismus, das umweltbasierte Kontingenzlernen, werden in den nächsten Abschnitten vorgestellt.

### **3. Das Erwartungs-Induktions-Paradigma**

Das Erwartungs-Induktions-Paradigma wurde von Haith, Hazan und Goodman (1988) als dynamische Wahrnehmungs-Aktions-Aufgabe in die Säuglingsforschung eingeführt. Die Intention war es, zukunftsorientierte mentale Prozesse wie das Ausbilden von Erwartungen über zukünftige Ereignisse und auf diesen Erwartungen basierende Handlungen in der frühen Kindheit zu untersuchen. Das Ausbilden einer Erwartung über ein zukünftiges Ereignis geschieht dabei auf Basis der Erkenntnis einer Kontingenz zwischen Ereignissen.

Zwei Ereignisse weisen eine Kontingenz auf, wenn sich die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines bestimmten Ereignisses (B) durch das Auftreten eines vorhergehenden bestimmten Ereignisses (A) erhöht. Kontingenzen stellen eine notwendige, aber nicht hinreichende Bedingung für Kausalität dar (vgl. Moran, Dumas & Symons, 1992; Watson, 1979). Umweltbasierte Kontingenzen bedeuten Regelmäßigkeiten, die den Ablauf von Ereignissen über die Zeit in einfachen „Wenn-Dann-Beziehungen“ bestimmen. Dabei sind umweltbasierte Kontingenzen von verhaltensbasierten Kontingenzen abzugrenzen. Im Gegensatz zu verhaltensbasierten Kontingenzen, bei denen das eigene Verhalten Einfluss auf das Auftreten eines nachfolgenden Ereignisses hat, nimmt das Individuum auf die umweltbasierte Kontingenz keinen Einfluss und hat somit auch keine Kontrolle auf die Ereignisfolge (vgl. Tarabulsky, Tessier & Kappas, 1996; Watson, 1979). Das Lernen der Regelmäßigkeit führt zu Erwartungen über Ereignisfolgen und

macht die Umwelt so vorhersagbar und liefert somit einen wichtigen Beitrag zum frühkindlichen Verständnis der Welt. Das Erlernen von Kontingenzen ist zudem grundlegend für adaptives Verhalten und wichtig für eine adaptive kindliche Entwicklung, da Konsequenzen antizipiert werden können und zielorientiertes eigenständiges Handeln ermöglicht wird (vgl. Bucher & Frensch, 2000; Haith, Benson, Roberts & Pennington, 1994).

Nach Watson (1994) kann umweltbasiertes Kontingenzlernen als ein primärer und angeborener Mechanismus angesehen werden. Das Erlernen von umweltbasierten Kontingenzen in der frühen Kindheit ist dem impliziten, prozeduralen Gedächtnis zuzuordnen (Nelson, 1995; 2002). Erst im Verlauf der Gedächtnisentwicklung kommen deklarative Aspekte, das Bewusstsein der Regel und das explizite Vorhersagen des folgenden Ereignisses hinzu. Nelson (1995; 2002) ordnet die Fähigkeit des umweltbasierten Kontingenzlernen der Gehirnstruktur des Striatum zu, welches ontogenetisch früh entwickelt ist, bereits bei der Geburt ausdifferenziert ist und auch schon früh myelinisiert wird (Sidman & Rakic, 1982). Die Fähigkeit, umweltbasierte Kontingenzen zu erlernen, konnte bereits bei Säuglingen im Alter von 2 Monaten nachgewiesen werden (Canfield & Haith, 1991; Wentworth & Haith, 1992).

Im Erwartungs-Induktions-Paradigma besteht die umweltbasierte Kontingenz aus einer Reihe von Stimuli, die in einer bestimmten räumlich-zeitlichen Sequenz auf einem Bildschirm präsentiert werden. In der prototypischen Form des Experiments werden den Säuglingen Stimuli in ihrem Blickfeld beispielsweise immer abwechselnd auf der rechten und linken Seite präsentiert (links-rechts Sequenz)<sup>2</sup>. Jeder einzelne Stimulus erscheint dabei für eine gewisse Zeit (z.B. für 700 ms). Das Erscheinen der Stimuli wird dabei von einem Interstimulusintervall (ISI) unterbrochen (z.B. 1000 ms). Bei dieser Sequenz besteht die Kontingenz also aus den Ereignissen A (der Stimulus erscheint auf der linken Seite) und Ereignissen B (der Stimulus erscheint auf der rechten Seite). Durch die ständige Wiederholung der Sequenz resultiert dabei jedoch auch, dass das Ereignis B (Stimulus erscheint auf der rechten Seite), zum Hinweis für das nun nachfolgende Ereignis A (Stimulus erscheint wieder auf der linken Seite) wird. Es wird also nicht nur gelernt, dass nach A B folgt, sondern auch, dass nach B wiederum A folgt usw. Im Erwartungs-Induktions-Paradigma wird jeder Wechsel von einem Hinweissti-

<sup>2</sup> Bei der Präsentation liegen die Säuglinge z.B. auf einer Babymatte und sehen die Präsentation über die Reflexion in einem über ihnen befindlichen Spiegel (z.B. Haith et al., 1988) oder sitzen in aufrechter Position auf dem Schoß ihrer Bezugsperson und sehen die Sequenz auf einem vor ihnen befindlichen Bildschirm (z.B. Canfield et al., 1997).

mulus zum nachfolgenden Zielstimulus als ein Trial definiert. Ob ein Säugling eine Präsentationsregel lernt, wird über die Veränderung des Blickverhaltens über die verschiedenen Trials des Versuchs überprüft (z.B. Canfield & Haith, 1991; Canfield & Smith, 1996; Canfield et al., 1997; Canfield, Wilken, Schmerl & Smith, 1995; Haith et al., 1988; Reznick, Chawarska & Betts, 2000; Rose et al., 2002).

### **3.1 Blickverhalten im Erwartungs-Induktions-Paradigma**

Die Blickbewegungen, die im Erwartungs-Induktions-Paradigma gezielt beobachtet werden können, werden als Sakkaden bezeichnet. Eine Sakkade ist eine diskontinuierliche schnelle Augenbewegung, die zwischen Fixationen auftritt und der Suche eines neuen Fixationspunkts dienen (Goldstein, 2002). Die Initiation der Sakkaden kann zum einen durch das plötzliche Erscheinen eines Stimulus (reflexiv) und zum anderen auch auf Basis der eigenen Intention, wie beispielsweise der Erwartungen über das Erscheinen des nächsten Stimulus (endogen), ausgelöst sein. Eine reflexive Sakkade dient lediglich dazu, die Fovea, also den Bereich des schärfsten Sehens im Auge, so auszurichten, dass das Objekt von Interesse in den Fokus gerät (vgl. Colombo, 2001). Zu Beginn der Präsentation ist dabei von reflexiven Initiationen der Sakkaden auszugehen. Mit dem Lernen der Präsentationsregel sollten sich die reflexiven Sakkaden über die Trials jedoch zunehmend in antizipatorische Sakkaden verwandeln. Eine antizipatorische Sakkade muss vor der minimalen Reaktionszeit, die eine reflexive Sakkade benötigt, auf den Zielstimulus starten, da das Erscheinen des Zielstimulus intern repräsentiert ist und die Initiation zum Start der Sakkade auf Basis der Erwartung über das Erscheinen und nicht des Erscheinens selbst beruht (z.B. Canfield & Haith, 1991; Canfield et al., 1997).

Diese beiden Kategorien von Sakkaden finden auch bei den beteiligten Hirnstrukturen eine Unterscheidung. Die Verarbeitung von visuellen Informationen im Gehirn verläuft über zwei verschiedene Pfade. Der erste wird als dorsaler Pfad (Wo-System) bezeichnet, dem die Verarbeitung visuell-räumlicher Informationen zugeschrieben wird. Der zweite Pfad wird als ventraler Pfad (Was-System) bezeichnet. Diesem Pfad wird die Verarbeitung von Objektattributen wie beispielsweise Form, Farbe und Größe zugeschrieben (Karnath & Thier, 2012). Der dorsale Pfad führt auch über die Struktur des superioren Colliculus, der in die Lenkung der Aufmerksamkeit und der Entstehung von reaktiven Augenbewegungen betreffend räumlicher Informationen involviert ist (Krauzlis, Basso & Wurtz, 2000; Kustov & Robinson, 1996, zitiert nach Adler & Haith, 2003). Der ventrale Pfad weist neuronale Verbindungen zum

frontalen Augenfeld auf, welches die höchste Hierarchieebene in der Steuerung der äußeren Augenmuskeln darstellt und an der Erzeugung antizipatorischer Sakkaden beteiligt ist (Hanes, Patterson & Schall, 1998; Keatin, 1991, zitiert nach Adler & Haith, 2003).

Der dorsale Pfad reift zwar früher aus als der ventrale Pfad, doch beide sollen mit 3 Monaten bereits voll funktionsfähig sein (Johnson, 1990). Auch die Kontrolle der Augenbewegung (Okulomotorik) unterliegt einem Entwicklungsprozess innerhalb der frühen Kindheit. Blickbewegungen sind in den ersten Lebensmonaten noch nicht gleitend, sondern ruckartig und teilweise unterbrochen. Zu antizipatorischen Blickbewegungen sind Säuglinge erst ab ca. 2 bis 3 Monaten fähig, wobei geschmeidige Blickbewegungen erst ab ca. 4 Monaten zu erwarten sind (Johnson, 2005). So können Säuglinge ihre Blicke mit der Zeit präziser auf das Stimulusmaterial im Erwartungs-Induktions-Paradigma ausrichten.

Als traditionellen Trennwert, um reaktive von antizipatorischen Sakkaden im Erwartungs-Induktions-Paradigma zu unterscheiden, haben Haith und Kollegen (1988) den Bereich des Interstimulusintervall bis zur Grenze von 200 Millisekunden nach Erscheinen des Zielstimulus festgelegt. Das bedeutet, dass der Start der Sakkade spätestens 200 ms nach Erscheinen des Zielstimulus erfolgen muss. Haith und Kollegen (1988) legten diesen Wert auf Basis von Befunden an Erwachsenen fest (siehe hierzu auch Becker; 1972; Saslow, 1967). Dabei war die Annahme leitend, dass Säuglinge kaum schnellere reaktive Sakkaden zeigen sollten als Erwachsene (vgl. auch Canfield & Haith, 1991). Der Trennwert von bis zu 200 ms nach Erscheinen des Stimulus ist jedoch nicht unumstritten. Zu diesem Sachverhalt wird auf Abschnitt 3.7.1 verwiesen. Im Folgenden liegt der Beschreibung antizipatorischer Sakkaden, sofern nicht explizit genannt, dieser traditionelle Trennwert zugrunde. Analysen des frühkindlichen Blickverhaltens belegen, dass im Verlauf der Stimuluspräsentation antizipatorische Sakkaden auch im Interstimulusintervall gezeigt werden (Wentworth & Haith, 1998).

Wentworth, Haith und Karrer (2001) haben beim Erwartungs-Induktions-Paradigma die kortikale elektrophysiologische Aktivität (ereigniskorrelierte Potentiale, kurz ERP) im Elektroenzephalogramm (kurz EEG) aufgezeichnet. Es zeigte sich, dass die mit antizipatorischen Sakkaden assoziierten ereigniskorrelierten Potentiale im frontalen Bereich der Ableitung stärker ausgeprägt waren. Die mit reaktiven Sakkaden assoziierten Potentiale waren dagegen am Vertex, der Scheitelfläche des Schädels, stärker

ausgeprägt<sup>3</sup>. Diese Ergebnisse können als Hinweis dafür gewertet werden, dass das Ausbilden von antizipatorischen Sakkaden im Erwartungs-Induktions-Paradigma in der frühen Kindheit derselben Gehirnstruktur wie im Erwachsenenalter zuzuschreiben ist, nämlich dem präfrontalen Kortex. Der präfrontale Kortex ist an Prozessen wie Planung und Problemlösen beteiligt und ist zudem mit dem Arbeitsgedächtnis und vielen Funktionen, welche die zeitliche Organisation des Verhaltens betreffen, assoziiert (vgl. Canfield & Kirham, 2001).

Das Erwartungs-Induktions-Paradigma stellt eine sogenannte free-looking Prozedur dar. Das bedeutet, dass es dem Säugling freisteht, sich den Stimulus anzuschauen oder nicht (Haith et al, 1988). Da Säuglinge starken physiologischen Schwankungen und Aufmerksamkeitsfluktuationen unterliegen (Belsky, Gilstrap & Rovine, 1984) und diese über die Trials einer Präsentation hinweg auftreten können, resultieren im Erwartungs-Induktions-Paradigma nicht nur reaktive und antizipatorische Sakkaden. Auch für die Aufgaben nicht relevantes Verhalten (off-task Verhalten) kann dabei auftreten. Beispiele hierfür sind das Schließen der Augen, Weinen, das Herumdrehen des Kopfes oder ähnliches (z.B. Canfield et al., 1997). Dem off-task Verhalten gegenüber steht das aufgabenrelevante Verhalten (on-task Verhalten). Dieses Verhalten zeichnet sich durch das Zeigen von aufgabenrelevanten Sakkaden aus (z.B. Canfield et al., 1997). Auf die Bewertung der Augenbewegungen wird im folgenden Abschnitt näher eingegangen.

### **3.2 Bewertung des Blickverhaltens im Erwartungs-Induktions-Paradigma**

Die Bewertung des Blickverhaltens geschieht in der Regel durch die Sichtung der im Versuch aufgezeichneten Filmaufnahmen (off-line coding) der Blickbewegungen. Dabei werden keine Kopfbewegungen, sondern nur Augenbewegungen einbezogen. Diese Auswertungen werden in der Regel von mindestens zwei unabhängigen Auswertern mittels einer 'Frame by Frame' Analyse vorgenommen. Als Frame bezeichnet man das einzelne Bild einer Filmsequenz. So kann der Film in kleinste Einheiten zerlegt werden. Durch diese Prozedur ist es möglich, den Zeitpunkt des Erscheinens des Stimulus zum einen und den Start der Augenbewegung zu diesem Stimulus zum anderen im Film festzustellen und diese beiden Zeitpunkte in Beziehung zu setzen. Aus der Differenz zwischen dem Zeitpunkt des Starts der Augenbewegung und dem Zeitpunkt des Erschei-

<sup>3</sup> Wentworth und Kollegen (2001) schlossen Sakkaden zwischen dem Erscheinen des Stimulus und 250 ms nach dessen Erscheinen aus, da in diesem Bereich eine Überlappung von reaktiven und antizipatorischen Sakkaden vermutet werden könnte.

nens des Stimulus und dem resultiert dann die Latenz der Sakkade zum Stimulus. Anhand dieser Latenz kann die Beurteilung der Sakkade als reaktiv oder antizipatorisch geschehen. Für jeden Trial, in dem der Säugling on-task ist, lässt sich so die Reaktionszeit der Säuglinge auf den Zielstimulus ermitteln (einen Überblick bieten z.B. Canfield et al., 1997).

Zur Beurteilung der Augenbewegungen als reaktiv oder antizipatorisch im Sinne einer Reaktion auf den Stimulus ist es eine Grundbedingung, dass die Augenbewegungen das Ziel der Fixation des Zielstimulus haben müssen. Solche Sakkaden werden dann als Major Fixation Shift bezeichnet. Sollte ein Säugling also die Position des Stimulus mit seinen Blicken treffen, aber dann eine andere Position fixieren, werden diese Blickbewegungen nicht als Major Fixation Shift gewertet. Alle anderen Augenbewegungen wie beispielsweise sekundäre korrektive Sakkaden, bei denen der Säugling lediglich die Position der Fixierung seines Blickes korrigiert, die in der Regel nach Erscheinen des Stimulus eintreten, oder auch Mikrosakkaden werden nicht in die Bewertung des Blickverhaltens einbezogen. Nur die Major Fixation Shifts werden für die Ermittlung der Blicklatenz, also der Reaktionszeit auf den Zielstimulus, genutzt.

Die Reliabilität bzw. Objektivität der Auswertungen wird durch den Vergleich der Beurteilung von verschiedenen Auswertern ermittelt. Dies betrifft sowohl die Bewertung der Major Fixation Shifts pro Trial als auch die Beurteilung des on-task bzw. off-task Verhaltens. Die Übereinstimmung kann dabei zum Beispiel durch die Bestimmung des Prozentsatzes der Übereinstimmungen bei der Beurteilung des Starts des Major Fixation Shifts oder der Beurteilung von on-task bzw. off-task Trials geschehen. In der Regel wird dabei auf Cohens Kappa zurückgegriffen (z.B. Canfield et al., 1997). Die Beurteilung der Übereinstimmung der aus der Auswertung resultierenden Reaktionszeiten auf die Stimuli kann aber auch durch Korrelationen wie der Intraklassenkorrelation ermittelt werden (z.B. Teubert et al., 2012).

Auch asymmetrische, das heißt komplexere Sequenzen wie zum Beispiel rechts-rechts-links oder links-links-rechts Abfolgen können im frühen Kindesalter bereits gelernt werden (Canfield & Haith, 1991). Zumindest 5 Monate alte Säuglinge scheinen beim Lernen einer solch komplexen Sequenz die Häufigkeit des Erscheinens der Stimuli auf der selben Position auszuzählen, um eine Vorhersage über das Erscheinen des Stimulus auf der anderen Seite treffen zu können (Canfield & Smith, 1996). Bei sich wiederholenden Positionen in asymmetrischen Sequenzen (z.B. links-links Wechsel bei einer links-links-rechts Sequenz) kann keine Bestimmung der Latenz des Augenshifts vorgenommen werden, da zur Fixation des Zielstimulus keine Augenbewegung not-

wendig ist. Nach Canfield und Haith (1991) kann jedoch zwischen „korrekten“ und „fehlerhaften“ Antizipationen unterschieden werden. Eine fehlerhafte Antizipation wäre beispielsweise ein Blick zur rechten Seite bei einem links-links Trial. Eine korrekte Antizipation zeichnet sich dagegen durch einen antizipierten Wechsel der Position aus (vgl. auch Canfield et al., 1997; Clohessy, Posner & Rothbart, 2001; Wentworth, Haith & Hood, 2002). Weiterhin kann festgehalten werden, ob eine Fixation, d.h. das Verharren auf einer Position, eine korrekte Fixation darstellt. So stellt zum Beispiel das Verharren des Blicks auf einem linken Stimulus bei einem links-links Trial eine korrekte Fixation dar. Diese kann beim links-rechts Wechsel nicht auftreten (vgl. Tamis-LeMonda & McClure, 1995). Alle folgenden Beschreibungen beziehen sich, sofern nicht explizit genannt, auf links-rechts bzw. rechts-links Sequenzen sowie auf links-rechts und rechts-links Wechsel in asymmetrischen Sequenzen.

### **3.3. Indizes der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit im Erwartungs-Induktions-Paradigma**

Um die Leistungen der Säuglinge im Erwartungs-Induktions-Paradigma inter- und intraindividuell vergleichbar zu machen, gibt es verschiedene Möglichkeiten zur Quantifizierung der Leistungen. Diese beruhen auf dem beschriebenen Blickverhalten der Säuglinge und dessen Veränderungen im Verlauf einer Stimuluspräsentation. Grob lassen sich diese Quantifizierungsmaße der Klassifikation der Sakkaden als antizipatorisch und reaktiv zuordnen. Im Folgenden wird nur auf die für diese Arbeit relevanten Quantifizierungen näher eingegangen, zu weiteren Quantifizierungen der Lernleistung im Erwartungs-Induktions-Paradigma soll an dieser Stelle auf Canfield und Smith (1996), Canfield und Kollegen (1997), DiLalla und Kollegen (1990), Fassbender und Kollegen (2012), Lissmann, Korntheuer und Lohaus (2007), Lohaus, Keller, Lissmann, Ball, Borke und Lamm (2006) sowie Rose und Kollegen (2002) verwiesen werden.

#### ***3.3.1 Antizipatorische Sakkaden als Indikator des Lernerfolgs***

Eines der am häufigsten eingesetzten Maße für den Lernerfolg, der auf antizipatorischen Sakkaden beruht, ist der Prozentsatz der Antizipationen. Er bezieht sich auf die Anzahl der Trials mit antizipatorischen Major Fixation Shifts im Verhältnis zur Anzahl der on-task Trials<sup>4</sup> (z.B. Canfield et al., 1997; Canfield et al., 1995; Haith et al., 1988; Haith & McCarty, 1990; Jacobson, Jacobson, O'Neill, Padgett, Frankowski & Bihun, 1992; Rose

<sup>4</sup> Formel: (Anzahl der Trials mit antizipatorischen Sakkaden / Anzahl der on-task-Trials) x 100

et al., 2002; Tamis-LeMonda & McClure, 1995; Teubert et al., 2014). Darüber hinaus wird auch die Anzahl der Antizipationen zur Überprüfung der Lernleistung herangezogen. So haben beispielsweise Tamis-LeMonda und McClure (1995) einen Summenwert aus antizipatorischen Sakkaden und korrekten Fixationen bei einer asymmetrischen Sequenz gebildet. Durch den Prozentsatz der Antizipationen und die Anzahl der Antizipationen kann die Lernleistung auf Basis dieses Sakkadentyps interindividuell und intraindividuell über die Zeit verglichen werden und mit anderen Leistungsindizes oder der späteren kognitiven Leistungsfähigkeit in Verbindung gesetzt werden. Teubert und Kollegen (2012) bildeten bei der Nutzung einer einfachen symmetrischen links-rechts Sequenz einen Summenwert der gezeigten Antizipationen. Zudem unterteilten sie die Präsentation in gleich große Abschnitte. Mittels dieser Einteilung konnten sie einen Zuwachs der antizipatorischen Sakkaden über den Verlauf der Präsentation bei 3 und bei 6 Monate alten Säuglingen nachweisen. Teubert und Kollegen (2014) nutzten den Prozentsatz der Antizipationen und unterteilten die Präsentation ebenfalls in gleich große Abschnitte. Bei dieser Vorgehensweise konnten sie einen Zuwachs über die Trials des Versuchs bei 9 Monate alten Säuglingen nachweisen.

### ***3.3.2 Reaktive Sakkaden als Indikator des Lernerfolgs***

Nicht jede Erwartung muss zwangsläufig zu einer antizipatorischen Sakkade führen, da der Säugling motiviert sein muss früh zu reagieren (z.B. Canfield et al., 1997; Haith et al., 1988). Im Erwartungs-Induktions-Paradigma kann jedoch nur das gezeigte Verhalten festgestellt werden. Deshalb haben Haith und Kollegen (1988) einen weiteren Indikator für den Lernerfolg vorgeschlagen. Aufgrund des Erkennens der Präsentationsregel kann es neben dem Auftreten antizipatorischer Sakkaden bei reaktiven Sakkaden zum Effekt der Erleichterung der Blickzuwendung (facilitation) kommen. Dies führt zu Reaktionen, die signifikant schneller als Reaktionen bei einer zufallsbasierten Sequenz ausfallen (Canfield & Haith, 1991). Dabei werden entweder nur reaktive Sakkaden einbezogen (z.B. Canfield & Haith, 1991; Haith et al., 1988) oder reaktive und antizipatorische Sakkaden (z.B. Fassbender et al., 2012; Tamis-Lemonda & McClure, 1995; Teubert et al., 2012, Teubert et al., 2014). Die bei der Präsentation von zufallsbasierten und regelhaften Sequenzen auftretenden Reaktionszeiten werden in der Regel über die Trials der Präsentationen gemittelt und miteinander verglichen (z.B. Canfield & Haith, 1991; Canfield & Smith, 1996; DiLalla et al., 1990; Haith et al., 1988; Jacobson et al., 1992).

Zum Nachweis des Effekts der Erleichterung der Blickzuwendung kann auch die Reduktion der Reaktionszeiten über die Trials der Präsentation einer regelhaften Sequenz Anwendung finden. Da davon ausgegangen werden kann, dass in den ersten Trials die Kontingenz noch unbekannt ist und die Reaktionszeiten somit nur auf der individuellen Reaktionsfähigkeit der Probanden (native Reaktionsgeschwindigkeit) basieren, können die Reaktionszeiten der ersten Trials als Referenz für die nachfolgenden Reaktionen dienen (z.B. Canfield et al., 1995). Das Absinken der Reaktionszeit wird dabei durch den Vergleich der gemittelten Reaktionszeit in verschiedenen Sequenzabschnitten operationalisiert. Die Anzahl der als Referenz dienenden Trials variiert in der Literatur. Nach Canfield und Kollegen (1995) werden in der Regel die ersten fünf bis zehn Reaktionen als Referenz genutzt, um sie mit den nachfolgenden Reaktionen (in der Regel 50 bis 75 Reaktionszeiten) zu vergleichen.

Eine ähnliches Vorgehen zum Nachweis des Effekts der Erleichterung der Blickzuwendung ist von Domsch und Kollegen (2009a, b), Teubert und Kollegen (2012) oder auch Teubert und Kollegen (2014) genutzt worden. Sie mittelten die Reaktionszeiten der Trials einer regelhaften Sequenz über mehrere gleich große Trial-Blöcke hinweg, um die Reduktion der Reaktionszeit über den Verlauf der Präsentation zu analysieren. In diesen Studien konnte mit dieser Operationalisierung der Effekt der Erleichterung der Blickzuwendung innerhalb der ersten Hälfte des ersten Lebensjahrs nachgewiesen werden. In der Altersgruppe von 9 Monate alten Säuglingen resultierte bei Teubert und Kollegen (2014) jedoch kein signifikantes Absinken der Reaktionszeit. Sie diskutieren dies mit der Einfachheit der präsentierten links-rechts Sequenz und der im Gegensatz dazu stehenden, relativ hohen kognitiven Leistungsfähigkeit der Gruppe der 9 Monate alten Säuglinge. Dieses Zusammenspiel führt zu einem schnellen Lernerfolg auf Basis des Effekts der Erleichterung der Blickzuwendung zu Beginn der Präsentation. Dies wiederum führt zu einer geringeren Chance zu einer weiteren Verbesserung im Verlauf der Präsentation. Dass Teubert und Kollegen (2012) eine geringere Abnahme der Reaktionszeit über die Stimuluspräsentation feststellten, unterstützt diese Vermutung. Der Nachweis des Effekts der Erleichterung der Blickzuwendung scheint vom Alter der Probanden und der Sequenzkomplexität abhängig zu sein.

Um die über den Effekt der Erleichterung der Blickzuwendung operationalisierten Lernleistungen inter- und intraindividuell zu vergleichen und mit Leistungen in anderen Paradigmen oder der späteren kognitiven Leistungsfähigkeit in Verbindung zu setzen, werden vor allem die gemittelten Reaktionszeiten genutzt, die aus der Präsentation einer regelhaften Sequenz resultieren. Je niedriger die mittlere Reaktionszeit aus-

fällt, desto höher ist die Leistungsfähigkeit zu bewerten (z.B. Canfield et al., 1997; Domsch et al., 2009a, b; Dougherty & Haith, 1997; Fassbender et al., 2012; Jacobson et al., 1992; Rose et al., 2004, 2005; Rose et al., 2002; Tamis-Lemonda & McClure, 1995; Teubert et al., 2012; Teubert et al., 2014). Der Vorteil der Nutzung von gemittelten Reaktionszeiten ist, dass die Mittelung zu einer Maximierung der nutzbaren Trials führt. Durch off-task Verhalten kann es im Verlauf des Versuchs zu einem Verlust an verwendbaren Trials kommen, da keine Reaktionen auf den Stimulus vorhanden sind. Durch die Nutzung der Mittelwerte besteht die Möglichkeit, diese Verluste weitgehend zu reduzieren. Ein weiteres Ziel der Mittelung ist die Reduktion der Fehlervarianz.

### **3.4 Aufmerksamkeit im Erwartungs-Induktions-Paradigma**

Aufmerksamkeit ist Grundlage für Wahrnehmung, Denken und Handeln und stellt einen bedeutenden Faktor für das Lernen dar. Wenn Aufmerksamkeit auf Informationen gerichtet wird, werden diese besser wahrgenommen, verarbeitet und behalten (Goldstein, 2008). Auf den Kontext des Erwartungs-Induktions-Paradigmas übertragen bedeutet dies, dass die Zuwendung zur Aufgabe entscheidend dafür ist, wie gut die Informationen einer Präsentation wahrgenommen und verarbeitet werden. Wird dem Präsentationsgeschehen Aufmerksamkeit geschenkt, gelangen die Information vom sensorischen Kurzzeitspeicher in das Arbeitsgedächtnis (Gage & Berliner, 1996). Aufmerksamkeit wird auch in der frühen Kindheit als Voraussetzung für jegliche kognitive Aktivität und als leistungstragende Komponente angesehen (vgl. Rose et al., 2004).

#### ***3.4.1 Komponenten der frühkindlichen Aufmerksamkeit***

Nach Colombo (2001) lassen sich in der frühen Kindheit vier Komponenten der visuellen Aufmerksamkeit unterscheiden. Diese sind Wachheit, die räumliche Orientierung, die Aufmerksamkeit gegenüber Objektmerkmalen und die endogene Kontrolle der Aufmerksamkeit. Diese Komponenten sind jedoch erst mit Abschluss des ersten Lebensjahres vollständig entwickelt, so dass mit fortgeschrittenem Reifelevel auch ein höheres Maß an Aufmerksamkeit gezeigt werden kann (vgl. auch Johnson, 2005). Die Komponenten unterscheiden sich zudem in ihrem Entwicklungsverlauf (Colombo, 2001).

Unter Wachheit ist das Erlangen eines wachen Zustandes zu verstehen. Das Erlangen eines eigenständigen wachen Zustandes ist zwar bei Neugeborenen festzustellen, wird in den ersten Lebensmonaten jedoch hauptsächlich durch externe Stimulation ausgelöst (Wolff, 1966). Ab ca. 3 Monaten können Säuglinge einen solchen Zustand dann auch für einen längeren Zeitraum aufrechterhalten (Berg & Berg, 1979).

Die räumliche Orientierung bezieht sich auf die Fähigkeit, visuelle Reize zu lokalisieren und bewegten Objekten mit den Augen zu folgen. Im ersten Lebensmonat sind Blickbewegungen jedoch noch teilweise unterbrochen. Ab ca. 4 Monaten können Säuglinge Objekten mit gleichmäßigen Blickbewegungen folgen (z.B. Phillips, Finocchio, Ong & Fuchs, 1997).

Die Aufmerksamkeit gegenüber Objektmerkmalen bezieht sich auf die Analyse dessen, was gesehen wird. Ab einem Alter von 2 Monaten können visuelle Stimuli ausgiebig visuell abgetastet werden (z.B. Leahy, 1976). Befunde von Bronson (1991) deuten darauf hin, dass damit verbundene Blickbewegungen einen deutlichen Zusammenhang mit einer Wiedererkennungsleistung aufweisen. Einzelnen Objektmerkmalen kann mit zunehmendem Alter vermehrt Aufmerksamkeit geschenkt werden. Dies führt zu einer Verbesserung der Objektverarbeitung.

Die endogene Kontrolle der Aufmerksamkeit beschreibt die Fähigkeit, die Aufmerksamkeit auch selbstständig zu kontrollieren und zu lenken. Wenn ein Säugling bei der gleichzeitigen Präsentation von einem bekannten und einem unbekanntem Stimulus eine hohe Rate an Blickbewegungen (shift rate) zwischen diesen beiden Stimuli zeigt, beruht dies nach Colombo, Mitchell und Horowitz (1988) auf einem aktiven und absichtlichen Vergleich der Stimuli. Diese Aufmerksamkeitskomponente reift ebenfalls mit zunehmendem Alter weiter aus (z.B. Axia, Bonichini & Benini, 1999).

### ***3.4.2 Indizes der Aufmerksamkeit im Erwartungs-Induktions-Paradigma***

Die Untersuchung der Aufmerksamkeit im Erwartungs-Induktions-Paradigma ist nur selten Gegenstand der Forschung. Das gebräuchlichste Maß ist das in Abschnitt 3.1 bereits beschriebene off-task bzw. on-task Verhalten<sup>5</sup>. Off-task Verhalten drückt die Unaufmerksamkeit der Probanden aus, wohingegen das on-task Verhalten Aufmerksamkeit repräsentiert. In der Regel wird der Prozentsatz der Trials, in denen off-task bzw. on-task Verhalten gezeigt wird, zur Beschreibung der Aufmerksamkeit genutzt<sup>6</sup> (z.B. Canfield et al., 1997, Canfield et al., 1995; Jacobson et al., 1992; Rose et al.,

<sup>5</sup> Nach Rose und Kollegen (2002) ist auch die Standardabweichung der Reaktionszeit ein mit der Aufmerksamkeit verbundenes Maß. Für einen Überblick wird auf Canfield und Kollegen (1997), Dougherty und Haith (1997) und Rose und Kollegen (2002) verwiesen.

<sup>6</sup> Formel:  $(\text{Anzahl der off-task Trials} / \text{Anzahl aller Trials}) \times 100$  bzw.  $(\text{Anzahl der on-task Trials} / \text{Anzahl aller Trials}) \times 100$

2002). In der Regel erweisen sich Säuglinge in ca. 70-80% der Trials einer Stimuluspräsentation als aufmerksam (vgl. Canfield et al., 1997, Canfield et al., 1995; Jacobson et al., 1992; Rose et al., 2002, Teubert et al., 2012; Teubert et al. 2014).

Das off-task Verhalten dient zum Teil jedoch auch dazu, Säuglinge, die während der Präsentation zu unaufmerksam waren, aus den Analysen auszuschließen (z.B. Canfield & Haith, 1991; Haith et al., 1988; Haith & McCarty, 1990; Fassbender et al., 2012). Es ist nachvollziehbar, dass die Quantifizierung der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit bei hohen off-task Anteilen stark mit der Aufmerksamkeit der Säuglinge konfundiert ist. Da jedoch nicht zwingend davon ausgegangen werden kann, dass unkooperative und unaufmerksame Säuglinge die gleiche Leistungsfähigkeit und intraindividuelle Stabilität dieser Leistungsfähigkeit besitzen wie kooperative und aufmerksame Säuglinge, kann der Ausschluss unaufmerksamer Säuglinge zu einem Verzerrungseffekt führen (Lewis & Johnson, 1971). Erschwerend kommt hinzu, dass eine hohe interindividuelle Variabilität betreffend des Zeitpunkts im Versuch, ab dem Säuglinge unruhig werden und vermehrt off-task Verhalten zeigen, vorherrscht (Canfield und Kollegen, 1997).

Die von Colombo (2001) postulierten Komponenten der Aufmerksamkeit können im Erwartungs-Induktions-Paradigma nur schwer diskriminiert werden. Da die Stimuli im Erwartungs-Induktions-Paradigma nicht gleichzeitig auf dem Bildschirm erscheinen, kann auch keine Rate der Blickbewegungen zwischen den Stimuli festgestellt werden. Diese Rate dient als Indiz der Komponente der endogenen Kontrolle der Aufmerksamkeit (siehe oben) Das on-task bzw. off-task Verhalten kann sowohl durch Objektmerkmale (wie Farbe, Neuheit, etc.) als auch endogen durch den Säugling selbst beeinflusst sein.

Die Aufmerksamkeitskomponente der räumlichen Orientierung bezieht sich auf die Fähigkeit der visuellen Lokalisation und Verfolgung von bewegten Objekten. Nach Johnson (2005) führt die neuronale Reifung auch dazu, dass sich die Okulomotorik innerhalb der frühen Kindheit stetig verbessert, so dass die Kontrolle der Augenbewegungen mit der Zeit immer besser gelingt und Säuglinge ihren Blick präziser ausrichten können (vgl. auch Abschnitt 3.1). Ein Einfluss der Kontrolle der Augenbewegungen auf die Reaktionszeiten ist deshalb, insbesondere in den ersten Lebensmonaten, anzunehmen.

Da sich die Fähigkeiten in den vier Komponenten der Aufmerksamkeit im frühen Kindesalter verbessern, ist anzunehmen, dass auch das on-task- bzw. off-task Verhalten entsprechend variiert. Der Präsentation der Stimuli sollte mit zunehmendem Alter

verstärkt in einem wachen Zustand gefolgt werden können. Zwar wird ein Start der Versuche in der Regel erst begonnen, wenn der Versuchsleiter das Kind als aufmerksam und wach einstuft, jedoch fällt es Säuglingen erst mit zunehmendem Alter leichter, diesen Zustand dauerhaft aufrecht zu erhalten. Physiologische Schwankungen und Aufmerksamkeitsfluktuationen können auch über die Trials eines Versuchs hinweg auftreten. So ist ein Einfluss von plötzlichen Veränderungen der Komponente Wachheit nicht auszuschließen.

Der Verlauf der Aufmerksamkeit während einer Stimuluspräsentation im Erwartungs-Induktions-Paradigma ist bislang kaum untersucht worden. In diesem Kontext sind jedoch die Studien von Teubert und Kollegen (2012) sowie Teubert und Kollegen (2014) zu nennen. Zur Analyse der Aufmerksamkeit im Erwartungs-Induktions-Paradigma haben Teubert und Kollegen (2012) ebenfalls auf das on-task bzw. off-task Verhalten zurückgegriffen. Sie beurteilten die Säuglinge auch dann als aufmerksam, wenn diese keinen aufgabenrelevanten Shift gezeigt hatten, aber dennoch den Bildschirm fixierten. Um den Verlauf der Aufmerksamkeit über die Stimuluspräsentation und verschiedenen Messzeitpunkte analysieren zu können, bildeten Teubert und Kollegen (2012) einen prozentualen Wert der Aufmerksamkeit für mehrere gleich große Abschnitte sowie für die gesamte Präsentation. Die Ergebnisse weisen einen Anstieg der Aufmerksamkeit über die Stimuluspräsentation im Alter von 3 Monaten nach, im Alter von 6 Monaten jedoch ein Absinken der Aufmerksamkeit. Es resultierte insgesamt geringe Effektstärken. Das Absinken der Aufmerksamkeit im Alter von 6 Monaten steht im Kontrast zum Anstieg der Aufmerksamkeit mit 3 Monaten und damit auch zu der Annahme, dass Säuglinge mit zunehmenden Alter vermehrt in der Lage sein sollten, einen wachen und aufmerksamen Zustand aufrecht zu erhalten. In ähnlicher Weise resultierte auch bei Teubert und Kollegen (2014) bei 9 Monate alten Säuglingen ein Abfall der Aufmerksamkeit über die Präsentation. Dieser Aspekt wird in Abschnitt 3.7.3 nochmals aufgegriffen und diskutiert. Im folgenden Abschnitt soll nun auf die Zusammenhänge zwischen den beschriebenen Indizes der Informationsverarbeitung und der Aufmerksamkeit eingegangen werden.

### **3.5 Zusammenhänge der Indizes im Erwartungs-Induktions-Paradigma**

Die mittlere Reaktionszeit und die antizipatorischen Leistungen (Prozentsatz der Antizipationen oder Anzahl der Antizipationen), scheinen voneinander abgrenzbare Indizes für die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit in der frühen Kindheit darzustellen.

Die Korrelationen zwischen diesen beiden Maßen variieren, auch in Abhängigkeit des Alters, liegen jedoch vorwiegend im moderaten Bereich (vgl. Canfield et al., 1995; Di-Lalla et al., 1990; Jacobson et al., 1992; Rose et al., 2002; Teubert et al., 2012; Teubert et al., 2014). Dass die beiden Indikatoren nicht höher zusammenhängen, kann mit der Verbundenheit der mittleren Reaktionszeit und der nativen Reaktionszeit begründet werden. Diese Verbundenheit ist bei antizipatorischen Leistungen kaum vorhanden (vgl. Canfield et al., 1997; Canfield et al., 1995; Haith & McCarty, 1990; Jacobson et al., 1992; Rose et al., 2002; Rose et al., 2003). Faktorenanalytisch konnte gezeigt werden, dass sowohl die Reaktionszeit bei zufallsbasierten Sequenzen (native Reaktionsgeschwindigkeit) als auch die Reaktionszeiten bei einer regelhaften Sequenz auf dem Faktor Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit laden (Rose et al., 2004).

Jacobson und Kollegen (1992) untersuchten die Zusammenhänge zwischen den Leistungen im Erwartungs-Induktions-Paradigma, der Ausprägung einer Neuigkeitspräferenz und der Aufmerksamkeit<sup>7</sup> bei 6 Monate alten Säuglingen. Der Prozentsatz der Antizipationen zeigte sich dabei sowohl mit der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit als auch mit der Aufmerksamkeit und dem Gedächtnis verbunden. Die Reaktionsgeschwindigkeit war jedoch nur mit dem Faktor Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit verbunden. Das Ausbilden von antizipatorischen Sakkaden scheint stärker als die Reaktionszeit höhere kognitive Prozesse anzusprechen (Haith, Wentworth & Canfield, 1993). Ähnlich wie bei dem Ausbilden einer Neuigkeitspräferenz sind neben der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit auch metakognitive Prozesse wie die Aufmerksamkeitsregulierung zugrunde liegende Faktoren für antizipatorische Leistungen im Erwartungs-Induktions-Paradigma (Tamis-Lemonda & McClure, 1995). Dabei muss berücksichtigt werden, dass beispielsweise Tamis-Lemonda und McClure (1995) in ihrer Untersuchung einen Summenwert aus der Anzahl antizipatorischer Blickwechsel und korrekter Fixationen gebildet haben und nicht der Prozentsatz der Antizipationen eingesetzt wurde. Der Prozentsatz der Antizipationen wird insofern an der Aufmerksamkeit der Kinder relativiert, als dass die Anzahl der antizipatorischen Sakkaden ins Verhältnis zum gezeigten on-task bzw. off-task Verhalten gesetzt wird. Es ist vorstellbar, dass der Prozentsatz der Antizipationen einem geringeren Einfluss der Komponente Aufmerksamkeit unterliegt.

<sup>7</sup> Die Aufmerksamkeit wurde über die Sustained Directed Activity (SDA) operationalisiert. Diese ist als die Dauer der Aufmerksamkeitszuwendung zu einem Spielzeug oder einer Gruppe von Spielzeugen in einer freien Spielsituation definiert (siehe auch Kagan, 1971).

Auch Teubert und Kollegen (2012) berichten hohe Korrelationen zwischen der Aufmerksamkeit und der Anzahl der Antizipationen. Auch sie gehen von einer hohen Verbindung zwischen antizipatorischen Leistungen und Aufmerksamkeitsprozessen aus. Zwischen der mittleren Reaktionszeit und der Aufmerksamkeit konnten sie bei 3 Monate alten Säuglingen eine geringe Korrelation nachweisen. Mit 6 Monaten resultierte kein signifikanter Zusammenhang mehr. Teubert und Kollegen (2014, fanden bei der Verwendung des Prozentsatzes der Antizipationen im Alter von 9 Monaten kaum signifikante bzw. allenfalls geringe Korrelationen der mittleren Reaktionszeit sowie des Prozentsatzes der Antizipationen mit dem on-task Verhalten. Auch sie argumentieren, dass der Prozentsatz der Antizipationen und die mittlere Reaktionszeit eher der Komponente der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit zugeschrieben werden können, während on-task bzw. off-task Verhalten eher der Aufmerksamkeit zuzuschreiben sind. Rose und Kollegen (2002) konnten bei 5, 7 und 12 Monate alten Säuglingen keine Zusammenhänge zwischen dem Prozentsatz der Antizipationen und dem Prozentsatz der off-task Trials nachweisen.

**Fazit:** Es kann festgehalten werden, dass antizipatorische Leistungen mit höheren kognitiven Prozessen in Verbindung gebracht werden können. Dass das Ausbilden von antizipatorischen und reaktiven Sakkaden mit unterschiedlichen Hirnstrukturen in Verbindung gebracht werden kann, kann ebenfalls als Indiz dafür gewertet werden (vgl. Abschnitt 3.1). Es kann jedoch vermutet werden, dass die Stärke der Verbundenheit zwischen antizipatorischen Leistungen und Aufmerksamkeitsprozessen auch von der Operationalisierung der antizipatorischen Leistungen abhängt (Prozentsatz der Antizipationen vs. Anzahl der Antizipationen). Die mittlere Reaktionszeit und die antizipatorischen Leistungen können jedoch beide der frühkindlichen Komponente der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit zugeschrieben werden.

### **3.6 Reliabilitäten der Indizes im Erwartungs-Induktions-Paradigma**

In der Literatur zum Erwartungs-Induktions-Paradigma werden zur der Überprüfung der Messgenauigkeit z.B. Split-half Reliabilitäten und Retest-Reliabilitäten für die bisher beschriebenen Maße berichtet. Die Split-half Reliabilitäten für die mittlere Reaktionszeit, die antizipatorischen Leistungen und die Aufmerksamkeit liegen in der Regel in einem moderaten bis zufriedenstellenden Bereich (vgl. Canfield et al., 1995; Haith & McCarty, 1990; Jacobson et al., 1992; Rose et al., 2004).

Die Stabilitäten für die mittlere Reaktionszeit, die antizipatorischen Leistungen und die Aufmerksamkeit im Erwartungs-Induktions-Paradigma fallen bei einer Durchsicht der Literatur unterschiedlich aus. Je nach Maß und Altersgruppe können teilweise keine signifikanten Zusammenhänge nachgewiesen werden (vgl. Canfield et al., 1995; Domsch et al., 2009b; Fassbender et al., 2012; Haith & McCarty, 1990; Lissmann et al., 2007; Rose et al., 2002; Teubert et al., 2012). Canfield und Kollegen (1997) haben zum Beispiel die mittleren Reaktionszeiten an einzelnen Messzeitpunkten (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12 Monaten) miteinander korreliert. Die Korrelationen der benachbarten Monate waren jeweils signifikant und fielen zufriedenstellend bis hoch aus (kleinste Korrelation:  $r = .62$ ). Die Höhe der Zusammenhänge scheint jedoch mit zunehmendem Alter der Säuglinge und mit zunehmendem Abstand zwischen den Messzeitpunkten abzusinken. Dieser Effekt ist bei Canfield und Kollegen (1997) im Altersbereich von 2 bis 5 Monaten wesentlich stärker ausgeprägt als in den späteren Lebensmonaten. Canfield und Kollegen (1997) folgend gibt es nur wenig Stabilität über einen längeren Zeitraum, vor allem innerhalb der ersten Lebensmonate. Sie vermuten eine starke Variabilität in den vorherrschenden Entwicklungsprozessen für die erste Hälfte des ersten Lebensjahres. Eine mögliche Erklärung für das weitgehende Fehlen von Positionsstabilitäten können die wie von Teubert und Kollegen (2011) gelisteten Einflussfaktoren auf die Reliabilität der Messung bieten. Dies sind beispielsweise die neuronale Reifung und interindividuelle Unterschiede bei diesem Reifungsprozess. So kann jedes Kind unterschiedliche Entwicklungsverläufe betreffend kognitiver Fähigkeiten aufweisen. Kinder einer Altersgruppe können so unterschiedliche Fähigkeiten besitzen, die nicht zwangsläufig mit ihren Fähigkeiten zu einem späteren Zeitpunkt im Verhältnis zu ihrer Altersgruppe stehen müssen (vgl. Fisher & Silvern, 1985). Im nächsten Abschnitt wird der Entwicklungsverlauf für die Indizes der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit und der Aufmerksamkeit thematisiert.

### **3.7 Entwicklung der Indizes im Erwartungs-Induktions-Paradigma**

Wie bereits in Abschnitt 2. beschrieben, ist zu erwarten, dass die Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung mit dem Alter ansteigen sollte. Demzufolge müssten auch die Leistungen im Erwartungs-Induktions-Paradigma solche Veränderungen aufweisen.

#### ***3.7.1 Entwicklung der Indizes auf Basis antizipatorischer Sakkaden***

In der querschnittlich ausgelegten Studie von Reznick und Kollegen (2000) wurden Unterschiede bei den antizipatorischen Leistungen in verschiedenen Altersgruppen in der frühen Kindheit untersucht. Der Prozentsatz der Antizipationen lag in zwei Versuchsrei-

hen bei 9 Monate alten Säuglingen höher als bei 6 Monate alten Säuglingen; und bei 8 Monate alten Säuglingen höher als bei 4 Monate alten Säuglingen. Bei 12 Monate alten Säuglingen lag der Prozentsatz der Antizipationen jedoch nicht mehr höher. In einer Längsschnittstudie konnten Teubert und Kollegen (2012) eine signifikante Verbesserung in der Anzahl der Antizipationen von 3 zu 6 Monaten feststellen. Die Effektstärke war jedoch gering, so dass von einem geringen Altersunterschied ausgegangen werden kann. Im Gegensatz dazu fanden Canfield und Kollegen (1995) jedoch bei 4 Monate alten Säuglingen einen höheren Prozentsatz der Antizipationen als bei 6 Monate alten Säuglingen.

Nach Canfield und Kollegen (1997) kann es bei der traditionellen Einteilung der Sakkaden als antizipatorisch oder reaktiv auf der Basis des Trennwerts von 200 ms zu einer Fehlbeurteilung von reaktiven Sakkaden als antizipatorisch kommen. Dies könnte zu einer fehlerhaften Einschätzung der Entwicklung bei dieser Leistungskomponente führen. Sie wählten einen Trennwert von 133 ms zur Beurteilung der Latenzzeiten als antizipatorisch. Für eine ausführliche Darstellung zu diesem Trennwert wird auf Canfield und Kollegen (1997) verwiesen. Sie konnten in einem Altersbereich von 2 bis 9 Monaten, untersucht im Abstand von einem Monat und anschließend nochmals mit 12 Monaten, jedoch auch bei diesem Vorgehen keinen systematischen Anstieg über das Alter nachweisen. Der Prozentsatz der Antizipationen zeigte sich über das Alter konstant. Clohessy und Kollegen (2001) zufolge sollte der Trennwert von 200 ms jedoch angemessen sein. Rose und Kollegen (2002) nutzten sowohl den Trennwert von 200 ms, als auch einen Trennwert von 150 ms (vgl. Haith, Wass & Adler, 1997). Bei der Nutzung des Trennwerts von 200 ms, zeigten 12 Monate alte Säuglinge höhere antizipatorische Leistungen als 5- bzw. 7 Monate alte Säuglinge. Diese Zunahme des Prozentsatzes der Antizipationen zeigte sich in ihrer Studie bei der Nutzung des Trennwerts von 150 ms jedoch nicht.

**Fazit:** Die Befunde zur Entwicklung der antizipatorischen Leistungen über das Alter sind nicht einheitlich. Canfield und Kollegen (1997) vermuten konfundierende Faktoren bei der Messung antizipatorischer Leistungen. Ein Kind muss motiviert sein, auch wirklich eine antizipatorische Sakkade zu zeigen. Eine variierende Motivation zu unterschiedlichen Alterszeitpunkten kann sich negativ auf die Identifizierung des Entwicklungsverlaufs bei den Antizipationen auswirken. Sie vermuten zudem qualitative Veränderungen im Entwicklungsverlauf, so dass im Verlauf der Entwicklung verschiedene kognitive Komponenten angesprochen werden könnten. Auch die Nutzung von unter-

schiedlich komplexen Sequenzen in unterschiedlichen Altersgruppen macht eine Aussage über die Entwicklung der Antizipationen über das Alter hinweg und über verschiedene Studien hinweg schwierig (vgl. Canfield et al., 1997). Canfield et al. (1997) fordern für die zukünftige Forschung ein Augenmerk auf die Monats-zu-Monats-Variabilität bei diesem Maß sowie eine altersangepasste Veränderung der Aufgabenschwierigkeit, um altersbedingte Veränderungen stärker hervortreten zu lassen. Eine Erhöhung der Attraktivität der Stimuli könnte ebenfalls zu einer Erhöhung der antizipatorischen Reaktionen führen und gleichzeitig individuelle und altersspezifische Unterschiede in der Fähigkeit, die Kontingenzen zu erkennen, verstärken (Canfield et al., 1997). Clohessy und Kollegen (2001) folgend ist die Operationalisierung der Lernleistung auf der Basis antizipatorischer Sakkaden eine valide Methode. Dabei ist ein besonderer Vorteil, dass antizipatorische Sakkaden schon ab einer geringen Anzahl an Trials auftreten. Da Säuglinge zu lange Testungen in der Regel nicht tolerieren, kann somit auch bei kürzeren Untersuchungen ein Lernerfolg festgestellt werden (Clohessy et al., 2001). Der Trennwert von 200 ms stellt das in der Forschung zum Erwartungs-Induktions-Paradigma zumeist verwendete Kriterium zur Unterscheidung von reaktiven und antizipatorischen Sakkaden dar (z.B. Wentworth et al., 2002 Kaufmann, Gilmore & Johnson, 2006). Die Nutzung dieses Trennwerts hat gleichzeitig auch den Vorteil, dass die resultierenden Ergebnisse zur Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse beitragen.

Neben antizipatorischen Sakkaden resultieren im Erwartungs-Induktions-Paradigma auch reaktive Sakkaden (vgl. Abschnitt 3.1). Auf den Aspekte der Entwicklung bei den Indizes auf Basis dieses Sakkadentyps soll im nächsten Abschnitt eingegangen werden.

### ***3.7.2 Entwicklung der Indizes auf Basis reaktiver Sakkaden***

In der Querschnittstudie von Reznick und Kollegen (2000) wurden auch Altersunterschiede hinsichtlich der Reaktionszeit untersucht. Die Autoren konnten eine Verringerung der mittleren Reaktionszeiten über das Alter nachweisen. Wie bei den antizipatorischen Leistungen zeigten ältere Säuglinge eine höhere Leistung. Eine Verbesserung bis zu einem Alter von 12 Monaten wurde hingegen nicht festgestellt. Längsschnittliche Befunde liefern Canfield und Kollegen (1995), die eine Verbesserung der Reaktionszeit von 4 zu 6 Monaten nachwiesen. Auch Teubert und Kollegen (2012) konnten in ihrer Längsschnittstudie eine Steigerung der Leistungen von 3 zu 6 Monaten nachweisen. Sie fanden bei der Nutzung einer einfachen links-rechts Sequenz jedoch auch, dass der Ab-

fall der Reaktionszeit über die Trials hinweg im Alter von 3 Monaten wesentlich stärker ausgeprägt war als mit 6 Monaten. Aufgrund der gesteigerten Leistungsfähigkeit mit dem Alter und bei gleichbleibender Schwierigkeit der Sequenz war ein größeres Absinken der Reaktionszeit nach Teubert und Kollegen (2012) jedoch nur noch schwer zu erreichen. Dies steht in Einklang mit Befunden von Teubert und Kollegen (2014), die keinen signifikanten Abfall der Reaktionszeit bei der Nutzung einer links-rechts Sequenz im Alter von 9 Monaten mehr nachweisen konnten. Dies entspricht auch den Ergebnissen von Reznick und Kollegen (2000), die ab dem Ende der zweiten Hälfte des ersten Lebensjahrs keine Verbesserung bei diesem Leistungsindex feststellen konnten. Rose und Kollegen (2002) konnten für den Altersbereich von 5 bis zu 7 Monaten und 7 bis zu 12 Monaten eine Verbesserung mit dem Alter bei der Nutzung einer asymmetrischen rechts-rechts-links Sequenz nachweisen. Zwar sind nur die Trials in die Berechnungen eingegangen, bei denen auch Positionswechsel vorlagen, doch kann davon ausgegangen werden, dass bei einer solchen Sequenz aufgrund der Komplexität der Gesamregel auch die einfachen rechts-links und links-rechts Wechsel schwieriger zu lernen sind. Die Studie von Canfield und Kollegen (1997) weist einen hohen Range und feine Abstufung betreffend der untersuchten Altersgruppe auf. Sie fanden ebenfalls einen systematischen Anstieg der Leistungen gemessen mit dem Leistungsindex der mittleren Reaktionszeit. Hier ist neben einer einfachen links-rechts Sequenz auch eine komplexere links-links-rechts Sequenz eingesetzt worden.

**Fazit:** Bei der Betrachtung der mittleren Reaktionszeit als Maß für den Lernerfolg im Erwartungs-Induktions-Paradigma zeigt sich ein einheitliches Bild der Entwicklung im Sinne eines Anstiegs der Fähigkeiten. Dabei muss jedoch in Übereinstimmung mit Canfield und Kollegen (1997) bei der Untersuchung entwicklungsbedingter Veränderungen eine altersangepasste Veränderung der Aufgabenschwierigkeit Berücksichtigung finden, um altersbedingte Veränderungen stärker hervortreten zu lassen. Canfield und Kollegen (1997) gehen zudem davon aus, dass die Sequenzkomplexität mit steigendem Alter der Säuglinge auch ein zunehmend wichtiger Faktor für die Aufrechterhaltung des Interesses an der Sequenz darstellt. Im weiteren Verlauf soll nun auf den Entwicklungsverlauf der kognitiven Komponente der Aufmerksamkeit im Erwartungs-Induktions-Paradigma eingegangen werden.

### ***3.7.3 Entwicklung der Indizes der Aufmerksamkeit***

Ähnlich wie bei den antizipatorischen Leistungen zeigt sich bei der Entwicklung der Aufmerksamkeit im Erwartungs-Induktions-Paradigma ein uneinheitliches Bild. Es existieren Studien, die keine altersbedingte Veränderung bei dem Prozentsatz der off-task Trials im ersten Lebensjahr nachweisen konnten (Canfield et al., 1997; Canfield et al., 1995). Einen Anstieg der Aufmerksamkeit bei der Nutzung des Prozentsatz der off-task Trials konnte jedoch von Rose und Kollegen (2002) bei der Präsentation einer asymmetrischen Sequenz von 5 zu 7 Monaten festgestellt werden. Es zeigt sich jedoch auch, dass 12 Monate alte Säuglinge wieder auf ein nahezu gleiches Aufmerksamkeitsniveau absanken, wie sie es zu 5 Monaten gezeigt hatten. Vergleichbar mit Rose und Kollegen (2002) resultierte auch bei Teubert und Kollegen (2012) ein signifikanter Anstieg der Aufmerksamkeit von 3 zu 6 Monaten.

Im Kontext der Entwicklung sind auch die in Abschnitt 3.4.2 bereits erwähnten Ergebnisse zum Verlauf der Aufmerksamkeit über die Trials einer Präsentation von Relevanz. Im Alter von 3 Monaten wurde einen Anstieg der Aufmerksamkeit und im Alter von 6 und 9 Monaten ein Absinken der Aufmerksamkeit gefunden (Teubert und Kollegen, 2012; Teubert et al., 2014). Ein solcher Abfall kann einer zunehmenden Langeweile aufgrund der Einfachheit der in diesen Studien präsentierten links-rechts Sequenz für 6 und 9 Monate alte Säuglinge zugeschrieben werden (Teubert et al., 2012; Teubert et al., 2014). Dies weist auf eine Veränderung der Aufmerksamkeit über das Alter, auch in Abhängigkeit von Merkmalen der Aufgabe wie die Sequenzschwierigkeit hin. Ob eine auf die Dauer fehlende Anregung durch die Präsentation zu einer geringen Anregung und zu einer Ermüdung geführt hat oder ob das Interesse und damit die endogene Aufmerksamkeit reduziert wurden, ist auf Basis dieser Operationalisierung der Aufmerksamkeit jedoch nicht analysierbar.

**Fazit:** Ein Anstieg der Aufmerksamkeitsleistung im Erwartungs-Induktions-Paradigma erscheint zumindest für die frühen Abschnitte des ersten Lebensjahrs wahrscheinlich. Es ist jedoch auch davon auszugehen, dass die altersbezogenen Unterschiede im on-task bzw. off-task Verhalten nur gering sind. Die zum Teil fehlenden Veränderungen mit dem Alter und die geringen Effekte (z.B. Teubert et al., 2012) weisen darauf hin. Andererseits sind auch bei der Aufmerksamkeit verschiedene Einflussgrößen vorstellbar. Eine dieser Einflussgrößen kann in den präsentierten Stimuli gesehen werden. So vermuteten Rose und Kollegen (2002), dass ihr Stimulusmaterial relativ einfach zu verarbeiten war und verkürzten deshalb die Präsentationszeit der Stimuli im Alter von 12

Monaten. Das Ziel war es, dass Interesse der Säuglinge aufrecht zu erhalten. Jedoch fiel die im Versuch gezeigte Aufmerksamkeit geringer aus als mit 7 Monaten. Trotz dieser Verkürzung der Präsentationszeit könnte es im Alter von 12 Monaten zu einer zunehmenden Langeweile im Verlauf der Präsentation gekommen sein. Ein Abfall der Aufmerksamkeit im Versuch aufgrund einer geringen Anregung durch die Sequenz für ältere Altersgruppen könnte jedoch auch eine geringe Aufmerksamkeit über alle Trials bedingt haben. Dies entspräche einem Effekt, wie ihn Teubert und Kollegen (2012; 2014) in ihren Studien vermuten. Eine Erhöhung der Attraktivität der Stimuli könnte nicht nur zu einer Erhöhung der antizipatorischen Reaktionen führen (Canfield et al., 1997). Eine Erhöhung der Attraktivität des Stimulusmaterials sollte auch einen Einfluss auf die im Versuch gezeigte Aufmerksamkeit nehmen können. Effekte des Stimulusmaterials auf die Aufmerksamkeit sowie auf die Lernleistungen werden im folgenden Abschnitt thematisiert.

### **3.8. Stimulusmaterial im Erwartungs-Induktions-Paradigma**

Im Erwartungs-Induktions-Paradigma kommen in der Regel verschiedene Stimuli zum Einsatz. Zumeist handelt es sich dabei um computergenerierte Graphiken und geometrische Muster (z.B. Schachbrettmuster, schematische Gesichter, Rechtecke und ähnliches). Diese werden zum Teil in verschiedenen Farbkombinationen und in Bewegung (z.B. sich drehend, zusammenschrumpfend und ähnliches) präsentiert, was eine Erhöhung der Zuwendung zu der Aufgabe bezwecken soll (Benson et al., 1993; Canfield & Haith, 1991; Dougherty & Haith, 1997; DiLalla et al., 1990; Haith et al., 1988; Jacobson et al., 1992; Rose et al., 2002; Rose et al., 2004, 2005, 2009; Tamis-Lemonda & McClure, 1995). Zur Erhöhung der Aufmerksamkeit kommen teilweise auch animierte Bilder (z.B. sich öffnende und schließende Hände, ein rennender Welpen und ähnliches) zum Einsatz (Canfield & Smith, 1996; Canfield et al., 1997; Canfield, et al., 1995; Tamis-Lemonda & McClure, 1995). Die Verwendung von dynamischen Stimuli könnte auch den Lernprozess vereinfachen (Domsch et al., 2009b). Dies führt zu der Überlegung, ob sich das Stimulusmaterial auch auf die Indikatoren der Lernleistung und der Aufmerksamkeit im Erwartungs-Induktions-Paradigma auswirken kann. Demzufolge müsste das Stimulusmaterial im Erwartungs-Induktions-Paradigma neben dem Lernen der Regel ihres Erscheinens ebenfalls verarbeitet werden.

Eine Studie, die einen deutlichen Hinweis auf die Verarbeitung des Stimulusmaterials beim Lernen einer räumlich-zeitlichen Sequenz gibt, stammt von Tamis-Lemonda und McClure (1995). Sie haben das Erwartungs-Induktions-Paradigma um

eine Aufgabe zur Neuigkeitspräferenz erweitert. Die präsentierten Stimuli wurden mit einem zusätzlichen visuellen Merkmal versehen. Nachdem den Säuglingen die Sequenz präsentiert wurde, erhielten sie wie bei einem Visuellen Paarvergleich Paare von Stimuli über mehrere Trials präsentiert. Einer dieser Stimuli eines jeden Paares enthielt dann das zuvor präsentierte und bekannte Merkmal, der andere ein neues und unbekanntes visuelles Merkmal. Die Säuglinge waren dabei in der Lage, die visuellen Merkmale zu differenzieren und zeigten eine Neuigkeitspräferenz. Säuglinge, die eine höhere antizipatorische Leistung erreichten, zeigten auch eine höhere Neuigkeitspräferenz.

### ***3.8.1 Der Einfluss der Ausbildung von Erwartungen über den Stimulus***

Ein Einfluss des Stimulusmaterials auf das Lernen einer räumlich-zeitlichen Sequenz im Erwartungs-Induktions-Paradigma wurde von Wentworth und Haith (1992) nachgewiesen. Sie präsentierten 2 und 3 Monate alten Säuglingen eine links-rechts Sequenz, wobei das Stimulusmaterial auf der einen Seite in wechselnder Folge erschien und auf der anderen Seite ein Stimulus in konstanter Weise präsentiert wurde. Auf der Seite, auf der der Stimulus konstant blieb, resultierte ein höherer Prozentsatz an Antizipationen als auf der Seite mit wechselndem Stimulusmaterial. Die mittlere Reaktionszeit fiel nur bei 2 Monate alten Säuglingen für die Seite mit der konstanten Stimuluspräsentation geringer aus als auf der anderen Seite. Zu 3 Monaten resultierte kein Unterschied mehr. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass Säuglinge im Erwartungs-Induktions-Paradigma auch Informationen des Stimulusmaterials verarbeiten und dies Auswirkungen auf die Lernleistung einer räumlich-zeitlichen Sequenz haben kann.

Adler und Haith (2003) wollten einen derartigen Effekt des Stimulusmaterials näher untersuchen. Sie präsentierten 3 Monate alten Säuglingen computergenerierte grafische Bilder in verschiedenen Farbkombinationen in einer links-rechts Sequenz. Die Stimuli wechselten zwar auf jeder Seite, doch wurden die Stimuli auf der einen Seite in einer gleichbleibenden Farbkombination präsentiert und auf der anderen Seite in verschiedenen wechselnden Farbkombinationen. Wenn eine neue Farbkombination oder auch ein anderer Stimulus eingeführt wurde, führte dies zu einer Verschlechterung beim Prozentsatz der Antizipationen (Trennwert 167 ms) bezogen auf die invariante Seite. Für die mittlere Reaktionszeit konnten Adler und Haith (2003) keinen Einfluss nachweisen. Die Ergebnisse legen das Ausbilden einer Erwartung über die Farbkombination der Stimuli auf der invarianten Seite nahe. Adler und Haith (2003) erklären diesen Effekt damit, dass die neuartigen Informationen bei der Einführung eines neuen Stimulus oder einer neuen Farbkombination zu einer Erhöhung der Aufmerksamkeitsressourcen gegenüber diesen neuartigen

Objektinformationen führt. Die neuen Informationen mussten von den Säuglingen in die bestehende Erwartung integriert werden (vgl. Grossberg, 1995, zitiert nach Adler & Haith, 2003). Dies führte zu einer Erhöhung der benötigten kognitiven Ressourcen für die Verarbeitung des Stimulus, was wiederum auf Kosten der verfügbaren Ressourcen für das Lernen der räumlich-zeitlichen Sequenz erfolgt. Dass sich der Effekt der experimentellen Manipulation nur beim Prozentsatz der Antizipationen und nicht bei der Reaktionszeit zeigte, erklären Adler und Haith (2003) mit einer unterschiedlichen Empfindlichkeit der beteiligten Hirnstrukturen bei reaktiven Sakkaden und antizipatorischen Sakkaden gegenüber der experimentellen Manipulation (vgl. Abschnitt 3.1). Während der dorsale Pfad mit der Erzeugung reaktiver Sakkaden assoziiert ist und empfindlicher gegenüber räumliche Manipulationen sein könnte, ist der ventrale Pfad mit der Erzeugung antizipatorischer Sakkaden assoziiert und scheint empfindlicher gegenüber Objektmanipulationen zu sein, was zu einem stärkeren Einfluss des Stimulusmaterials bei antizipatorischen Sakkaden führt.

Auf der Basis dieser Aufführungen lässt sich festhalten, dass das Stimulusmaterial im Erwartungs-Induktions-Paradigma je Trial verarbeitet wird und dass Erwartungen zum Stimulusmaterial ausgebildet werden. Beim Erscheinen eines neuen Bildes wird diese Erwartung mit dem neuen Stimulus abgeglichen. Es muss also eine mentale Repräsentation des Stimulus vorliegen, anhand derer ein Stimulus als neu oder bekannt beurteilt werden kann. Unterstützung findet diese Annahme auch durch die Studie von Wentworth und Kollegen (2001). Sie fanden in der kortikalen elektrophysiologischen Aktivität Unterschiede zwischen bekannten und unbekanntem Stimuli im Erwartungs-Induktions-Paradigma bei 3 Monate alten Säuglingen. Bei als bekannt eingestuften Stimuli waren die Potenziale stärker ausgeprägt als bei unbekanntem Stimuli<sup>8</sup>. Es kann die Frage gestellt werden, ob Stimuluseffekte im Erwartungs-Induktions-Paradigma erwartet werden können, die nicht auf der Bekanntheit des Stimulusmaterials basieren, sondern von Eigenschaften des Stimulus selbst abhängig sind. Ein Unterschied zwischen verschiedenen Stimuli stellt die Bedeutungshaltigkeit des Stimulus dar.

### ***3.8.2 Der Einfluss der Bedeutungshaltigkeit des Stimulusmaterials***

Der Einfluss der Bedeutungshaltigkeit des Stimulusmaterials im Erwartungs-Induktions-Paradigma ist in der Studie von Teubert und Kollegen (2012) an Säuglingen im Alter von 3 und anschließend im Alter von 6 Monaten untersucht worden. Die Säuglinge sahen eine

<sup>8</sup> Als unbekannt stuften Wentworth und Kollegen (2001) einen kontinuierlich erscheinenden Stimulus bei den zweiten und dritten Wiederholungen der Sequenz ein. Als bekannt stuften sie ihn bei der siebten und achten Wiederholung ein.

einfache links-rechts Sequenz und wurden einer von zwei Bedingungen zugeordnet, die längsschnittlich konstant gehalten wurden. Die Säuglinge lernten entweder mit kulturell vertrauten photorealistischen weiblichen Gesichtern oder sogenannten Greebles. Gesichter stellen aufgrund ihrer biologischen Relevanz besonders bedeutungsvolle und relevante Reize in der frühen Kindheit dar. Um zu überleben, müssen Säuglinge mit anderen Menschen interagieren, um ihre Bedürfnisse zu kommunizieren (Keller, 2000). So sind bereits Neugeborene in der Lage, Gesichter und gesichtsähnliche Muster zu unterscheiden. Zudem zeigen sie eine Präferenz gegenüber derartigen Stimuli im Gegensatz zu anderem, gleich komplexem Stimulusmaterial (z.B. Goren, Sarty & Wu, 1975; Johnson & Morton, 1991; Macchi Cassia, Turati & Simion, 2004; Valenza, Simion, Macchi Cassia & Umiltà, 1996). Greebles sind dreidimensionale Figuren, die hinsichtlich ihrer Struktur und Merkmalen vergleichbar komplex wie Gesichter sind. Sie besitzen dieselben Merkmale in denselben Proportionen wie Gesichter. Diese Merkmale sind bilateral symmetrisch und weisen organische Charakteristika auf. Greebles werden jedoch vom menschlichen visuellen System nicht als Gesichter interpretiert und entsprechend verarbeitet (z.B. Gauthier & Tarr, 1997; Gauthier, Behrmann & Tarr, 2004). Greebles weisen auch keine Gesichtern entsprechende Bedeutung bzw. Relevanz auf.

Teubert und Kollegen (2012) untersuchten den Einfluss dieser beiden Stimulusarten auf die Anzahl der antizipatorischen Reaktionen, die mittlere Reaktionszeit und die im Versuch gezeigte Aufmerksamkeit. Es ließ sich dabei zwar kein Effekt des Stimulusmaterials auf die Reaktionszeit feststellen, die antizipatorischen Leistungen und auch die Aufmerksamkeit fielen jedoch beim Einsatz von Gesichtern höher aus. Zusätzlich wurde analysiert, ob sich die antizipatorischen Leistungen auf Basis des Stimulusmaterials und auch unabhängig von der Aufmerksamkeit erhöhten. Während sich die Aufmerksamkeit zu 3 und auch zu 6 Monaten als stärkste Einflussgröße auf die Anzahl der Antizipationen erwies, konnte der Einsatz von bedeutungshaltigen Stimuli nur im Alter von 6 Monaten die Leistung auch über den Einfluss der Aufmerksamkeit hinaus erhöhen. Teubert und Kollegen (2012) vermuten, dass der Einsatz von kulturell vertrauten weiblichen Gesichtern die Aufmerksamkeit erhöht, was zu einer Verbesserung der Informationsaufnahme führt. Die Informationsaufnahme betrifft dann nicht nur Merkmale des Stimulus wie zum Beispiel seine Gestalt oder seine Bestandteile, sondern auch Informationen zu seinem räumlich-zeitlichen Erscheinen und erleichtert so das Lernen der räumlich-zeitlichen Sequenzregel. Dass kein Einfluss auf die Reaktionszeit gefunden werden konnte, diskutieren Teubert und

Kollegen (2012) mit der stärkeren Verbundenheit antizipatorischer Leistungen mit der frühkindlichen Komponente Aufmerksamkeit im Gegensatz zur Reaktionszeit (vgl. Abschnitt 3.5).

Es muss einschränkend darauf hingewiesen werden, dass die von Teubert und Kollegen (2012) berichteten Stärken der Stimuluseffekte eher gering ausfallen. Teubert und Kollegen (2014) konnten beim Einsatz dieser beiden Stimulusarten bei 9 Monate alten Säuglingen keine Effekte auf den Prozentsatz der Antizipationen und die mittlere Reaktionszeit feststellen. Auch beim on-task Verhalten konnten sie keinen Unterschied zwischen den beiden Bedingungen nachweisen. Sie diskutieren dies mit der gesteigerten Leistungsfähigkeit von 9 Monate alten Säuglingen im Gegensatz zu 3 und 6 Monaten. Dies führt ihnen zufolge zu einer Verbesserung der Lernfähigkeit. Die untersuchten Säuglinge sollten so weniger auf erleichternde Einflüsse angewiesen sein, um eine gute Lernleistung zu erzielen. Einer der Unterschiede zwischen diesen beiden Studien ist zudem die Nutzung zweier unterschiedlicher Maße für die antizipatorischen Leistungen (Prozentsatz der Antizipationen vs. Anzahl der Antizipationen). Es kann eine unterschiedlich starke Verbundenheit der beiden Maße mit der Komponente Aufmerksamkeit vermutet werden. Da der Effekt des Stimulusmaterials bei Teubert und Kollegen (2012) zum größten Teil auf einen Effekt der Aufmerksamkeit zurückgeführt werden kann, ist der fehlende Stimuluseffekt beim Prozentsatz der Antizipationen nachvollziehbar (vgl. Teubert et al., 2014). Auch beim on-task Verhalten ist von Teubert und Kollegen (2014) kein Effekt des Stimulusmaterials im Alter von 9 Monaten festgestellt worden. Die Präferenz für Gesichter schwächt sich in der frühen Kindheit jedoch schon früh wieder ab (Johnson, Dziurwicz, Ellis & Morton, 1991). Es kann also vermutet werden, dass sich auch die aufmerksamkeitserhöhende Wirkung von Gesichtern mit steigendem Alter verringert.

Auf Basis von nur zwei Studien ist der Einfluss der Bedeutungshaltigkeit des Stimulusmaterials im Erwartungs-Induktions-Paradigma schwer abschätzbar. Dass sich ein Einfluss auf antizipatorische Leistungen und nicht auf die mittlere Reaktionszeit zeigte, ist in Anlehnung an die Überlegungen von Adler und Haith (2003) nachvollziehbar. Sie vermuten dass der ventrale Pfad, der mit der Erzeugung antizipatorischer Sakkaden assoziiert ist, empfindlicher gegenüber Objektmanipulationen ist als der dorsale Pfad, was zu einem stärkeren Einfluss des Stimulusmaterial bei antizipatorischen Sakkaden führt (vgl. Abschnitt 3.8.1).

Teubert und Kollegen (2012) fanden einen Einfluss des Stimulusmaterials über den Einfluss der Aufmerksamkeit hinaus. Es stellt sich die Frage, welche Merkmale des Stimulusmaterials einen solchen Einfluss auf die Leistung bewirkt haben. Da sowohl Ge-

sichter als auch Greebles den gleichen physikalischen Gehalt aufweisen, sollte der Einfluss nicht mit einer daran gebundenen Komplexität des Stimulusmaterials begründet sein. In einer Studie untersuchten Spangler und Kollegen (2011) die Leistungen 3 Monate alter Säuglinge im Habituations-Dishabituations-Paradigma. Auch sie verwendeten Greebles und Gesichter als Stimulusmaterial, wobei die Säuglinge einer der beiden Lernbedingungen zugeordnet wurden. In dieser Studie resultierten keine Leistungsunterschiede zwischen den beiden Stimulusarten. Der kognitive Entwicklungsstand und damit die Höhe der kognitiven Leistungsfähigkeit der Säuglinge zeigte jedoch einen signifikanten Einfluss auf die Dishabituationsleistungen bei Greebles, nicht bei Gesichtern. Ein ähnlicher Effekt konnte für das Temperament der Säuglinge nachgewiesen werden. Die Fähigkeit der Säuglinge, ihre Emotionen und ihre Aufmerksamkeit zu regulieren, erwies sich als wichtige Einflussgröße auf die Dishabituationsleistungen bei Greebles, nicht bei Gesichtern. Spangler und Kollegen (2011) schlussfolgerten daraus, dass die Verarbeitung von Gesichtern weniger von der kognitiven Leistungsfähigkeit sowie der Fähigkeit zur Regulierung der eigenen Emotionen und der Aufmerksamkeit der Säuglinge abhängig ist als die Verarbeitung von Greebles. Dies führt zu der Vermutung, dass diese beiden Arten des Stimulusmaterials unterschiedliche Anforderungen bei der Verarbeitung stellen.

### ***3.8.3 Die Verarbeitung von Greebles und Gesichtern***

Ein Unterschied zwischen Gesichtern und Greebles stellt die Bedeutungshaltigkeit in der frühen Kindheit dar (Teubert et al., 2012). Ein weiterer Unterschied besteht in der Art der Verarbeitung. Greebles werden ohne Vorkenntnisse, in einer analytischen Art und Weise verarbeitet. Beim analytischen Verarbeitungsstil (auch als featural processing bezeichnet) wird jedes einzelne Merkmal eines Objekts separat verarbeitet und die einzelnen Merkmale werden dabei nicht in Beziehung zueinander gesetzt (vgl. Gauthier & Tarr, 1997; Gauthier et al., 2004). Im Gegensatz dazu werden Gesichter holistisch verarbeitet. Bei der holistischen Verarbeitung werden nicht nur die Eigenschaften der einzelnen Merkmale, sondern alle Merkmale eines Gesichtes als eine ganze Gestalt verarbeitet (Maurer, LeGrand & Mondloch, 2002). Diese Art der Verarbeitung ist im Erwachsenenalter bei der Konfrontation eines Menschen mit einem Gesicht vorherrschend. Der Vorteil der holistischen Verarbeitung liegt darin, dass die Komplexität des Verarbeitungsprozesses reduziert ist. Dies begründet sich durch die Reduktion der Belastung von Aufmerksamkeitsressourcen bei der Verarbeitung und einer geringeren Beanspruchung der Kapazität des Kurzzeitspeichers im Arbeitsgedächtnis (Curby, Glazek

& Gauthier, 2009). Dies steht im Gegensatz zur Verarbeitung jedes einzelnen Merkmals eines Objekts. Die analytische Verarbeitung von Greebles könnte zu einem höheren Bedarf kognitiver Ressourcen geführt haben. Dies könnte dann zu Lasten der verfügbaren Ressourcen für das Lernen der Sequenz gehen (vgl. Teubert et al., 2014).

Auch Säuglinge können Gesichter bereits holistisch verarbeiten. Die Verarbeitung von Gesichtern unterliegt im ersten Lebensjahr jedoch einer Entwicklung von der analytischen Verarbeitung hin zur holistischen Verarbeitung (Schwarzer, Spangler & Freitag, 2011). So haben Teubert und Kollegen (2012) einen Effekt des Stimulusmaterials über den Einfluss der Aufmerksamkeit hinaus erst bei 6 Monate alten Säuglingen und mit einer geringen Effektstärke nachgewiesen. Da Spangler und Kollegen (2011) schon bei 3 Monate alten Säuglingen einen Einfluss der generellen kognitiven Leistungsfähigkeit auf die Dishabituationsleistungen zwischen den beiden Stimulusarten festgestellt haben, lässt sich vermuten, dass sich die holistische Verarbeitung in diesem Alter in einem beginnenden Entwicklungsprozess befindet und dass deren Effekte noch stark schwanken.

### ***3.8.4 Der Einfluss der kulturellen Vertrautheit von Gesichtern***

Ein Unterschied in der Verarbeitung existiert jedoch nicht nur zwischen Objekten und Gesichtern. Auch Gesichter werden je nach Kategorie der sie angehören unterschiedlich verarbeitet. Ein prominentes Beispiel hierfür ist der sogenannte Other-Race-Effect (auch Own-Race-Bias genannt). Der Other-Race-Effect beschreibt den Sachverhalt, dass Personen Gesichter ihrer eigenen Ethnie besser erinnern und voneinander unterscheiden können als Gesichter einer fremden Ethnie. Als Grund kann die mit dem Alter auftretende Spezialisierung der Gesichtsverarbeitung auf die für die Umwelt typischen Gesichter angesehen werden (vgl. Meisner & Brikham, 2001). Zu Beginn ist der Mechanismus der Gesichtsverarbeitung noch auf eine breite Klasse an potentiellen Gesichtern ausgelegt. Im Laufe der Zeit spezialisiert sich dieser Mechanismus jedoch auf Gesichter, die typisch für die Kategorie der eigenen Ethnie sind (Konzept des perceptual narrowing, Nelson, 2001; Lewkowicz & Ghazanfar, 2009). Verschiedene Studien zeigen, dass sich der Other-Race-Effect im Verlauf der frühen Kindheit entwickelt und sich die Spezialisierung auf kulturell vertraute Gesichter ab ungefähr 6 Monaten ausbildet (siehe Bar-Haim, Ziv, Lamy & Hodes, 2006; Kelly et al., 2009; Kelly, Quinn, Slater, Lee, Ge & Pascalis, 2007; Sangrigoli & de Schonen, 2004). Nach Ferguson, Kulkofsky, Cashon und Casasola (2009) kann zu Beginn der frühen Kindheit von einer holistischen Verarbeitung beider Gesichtskategorien ausgegangen werden. Im weiteren Verlauf sollte es

bei kulturell unvertrauten Gesichtern zu einer Abnahme der holistischen Verarbeitung hin zu einer analytischen Verarbeitungsweise kommen, die mit 8 Monaten messbar ausgeprägt ist.

Fassbender und Kollegen (2012) konnten einen Unterschied in den Lernleistungen im Erwartungs-Induktions-Paradigma beim Einsatz von kulturell vertrauten und kulturell unvertrauten Gesichtern feststellen. Der Effekt des Stimulusmaterials zeigt sich dabei insofern, als die zu erwartende Verbesserung der Lernleistung mit dem Alter nur beim Einsatz von kulturell vertrautem Stimulusmaterial nachgewiesen wurde. Bei dem Einsatz kulturell unvertrauten Gesichtern wurde kein altersbedingter Anstieg gefunden. Die Säuglinge blieben mit 6 Monaten nahezu auf dem gleichen Niveau wie mit 3 Monaten.

### ***3.8.5 Fazit zum Stimulusmaterial im Erwartungs-Induktions-Paradigma***

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Stimuluseffekte im Erwartungs-Induktions-Paradigma auf unterschiedliche Weise auftreten können. Eine enttäuschte Erwartung betreffend des präsentierten Stimulusmaterial kann sich negativ auf die Lernleistung auswirken (vgl. Adler & Haith, 2003; Wentworth & Haith, 1992). Da das Stimulusmaterial in der Regel jedoch in randomisierter Form präsentiert wird und damit keine feste Zuordnung von Stimuli zu spezifischen Position auf dem Bildschirm besteht, ist das Ausbilden einer Erwartung über das Erscheinen eines spezifischen Stimulus, an einer spezifischen Position, unwahrscheinlich.

Das Stimulusmaterial kann sich aber auch auf für das Lernen zuträgliche Stützfunktionen wie die Aufmerksamkeit auswirken. Eine Erhöhung der Aufmerksamkeit soll in der Regel durch die Verwendung von dynamischem Stimulusmaterial resultieren. Dies könnte jedoch auch durch die Bedeutungshaltigkeit des Stimulus für den Lernenden bestimmt werden (vgl. Teubert und Kollegen, 2012). Beim Einsatz von Gesichtern muss berücksichtigt werden, dass altersbedingte Unterschiede in der Wirksamkeit erwartet werden können. Systematische Untersuchungen stehen jedoch noch aus.

Die bisherigen Schilderungen legen nahe, dass die Verwendung von verschiedenen Stimuli bei der Präsentation einer Sequenz auch als problematisch betrachtet werden kann. Wenn sich das verwendete Stimulusmaterial in der Verarbeitungsschwierigkeit oder seinem aufmerksamkeitserregenden Gehalt unterscheidet, können von Trial zu Trial Variationen in den Leistungen auftreten, was sich wiederum negativ auf die Reliabilität auswirken kann. Es ist vorstellbar, dass die Verwendung von ein-

heitlichem Stimulusmaterial dem entgegenwirken könnte. Betreffend der Reliabilität von Habituations- und Dishabituationsmaßen ist bereits von Kavšek (2004b) auf ein solches Problem hingewiesen worden.

Stimulusbedingte Leistungsunterschiede können nicht nur vom Stimulus, sondern auch vom Alter der untersuchten Säuglinge und deren bisherigen Umwelterfahrungen (z.B. mit Gesichtern) abhängen. Es kann daher vermutet werden, dass Ergebnisse zum Entwicklungsverlauf der frühkindlichen Leistungsfähigkeit ebenfalls von Stimuluseffekten abhängen. Eine systematische Untersuchung von Stimuluseffekten auf die Lernleistungen, die Reliabilität der Messung und auf entwicklungsbedingte Veränderungen bei den Leistungsindizes im Erwartungs-Induktions-Paradigma stellt einen Ansatz für die zukünftige Forschung dar. Wie dargestellt lassen sich auch Effekte aufgrund einer unterschiedlich schwierigen Verarbeitung des Stimulusmaterials vermuten. Dies führt zu der Frage, ob Stimuluseffekte auch im Kontext der Prognose der späteren Intelligenz auf Basis frühkindlicher Leistungen im Erwartungs-Induktions-Paradigma erwartet werden können. Dieser Frage wird im weiteren Verlauf nachgegangen. Als erstes folgt jedoch eine Darstellung der bisherigen Befundlage zur Intelligenzprognose mittels des Erwartungs-Induktions-Paradigmas.

#### **4. Intelligenzprognose durch das Erwartungs-Induktions-Paradigma**

Zur Prognose der späteren Intelligenz auf Basis der Leistungsindizes im Erwartungs-Induktions-Paradigma existieren, im Gegensatz zu Studien mit dem Habituations-Dishabituations-Paradigma und dem Visuellen Paarvergleich, nur wenig empirische Studien und insbesondere keine Metaanalysen. Für einen Überblick zur Intelligenzprognose auf Basis des Habituations-Dishabituations-Paradigma und des Visuellen Paarvergleichs wird auf Teubert und Kollegen (2011) verwiesen. Die folgende Zusammenstellung bezieht sich daher auf die Vergleiche der Leistungsindizes im Erwartungs-Induktions-Paradigma mit IQ-Werten aus standardisierten Intelligenztests. Es existieren jedoch auch Studien, in denen die frühkindlichen Leistungsindizes aus dem Erwartungs-Induktions-Paradigma mit dem kognitiven Entwicklungsstand aus allgemeinen Entwicklungstests in Verbindung gesetzt wurden. Die Zusammenhänge fallen jedoch in der Regel gering aus oder erreichen kein signifikantes Niveau (vgl. Benson et al., 1993, Cardon & Fulker, 1991; DiLalla, 1990; Domsch et al., 2009a;

Lisssmann et al., 2007). Eine Ursache hierfür ist, dass Tests zum kognitiven Entwicklungsstand in der frühen Kindheit inhaltlich vom Konstrukt der Intelligenz abweichen (vgl. Abschnitt 2.).

Die prominenteste Studie zur Prädiktion des psychometrischen IQ auf Basis der Leistungen im Erwartungs-Induktions-Paradigma stammt von Dougherty und Haith (1997). Sie präsentierten Säuglingen im Alter von 3 Monaten eine links-rechts Sequenz. Die Zusammenhänge zwischen dem Prozentsatz der Antizipationen und dem Gesamt IQ (gemessen durch die Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence – Revised, Wechsler, 1989) im Alter von 4 Jahren lagen mit  $r = .43$  in einem moderaten Bereich. Die Zusammenhänge zum Verbalteil lagen bei  $r = .53$ . Die mittlere Reaktionszeit korrelierte mit dem Gesamt IQ mit  $r = -.44$  und mit dem Handlungsteil mit  $r = -.47$ . Auf Basis der mittleren Reaktionszeit konnten Domsch und Kollegen (2009a) bei 6 Monate alten Säuglingen eine vergleichbare Prädiktion des IQ (gemessen durch die Kaufmann Assessment Battery for Children, Melchers & Preuß, 1994) mit 3 Jahren nachweisen. Weitere Studien unterstützen die Möglichkeit der Intelligenzprognose auf Basis der Messungen im Erwartungs-Induktions-Paradigma (z.B. Benson et al., 1993; Cardon & Fulker, 1991; DiLalla et al., 1990). Die Zusammenhänge der frühkindlichen Leistungsfähigkeit im Erwartungs-Induktions-Paradigma und der späteren Intelligenz sind zwar deutlich höher als bei der Verwendung von allgemeinen Entwicklungstests, liegen jedoch nur in einem moderaten Bereich. Im Folgenden soll auf die Möglichkeiten der Verbesserung der Prognose eingegangen werden. Die folgenden Ausführungen gelten jedoch nicht für die Prognose mittels der Indizes im Erwartungs-Induktions-Paradigma sondern auch für andere frühkindliche Untersuchungsmethoden wie dem visuellen Paarvergleich oder das Habituations-Dishabituations-Paradigma.

#### **4.1 Ansätze zur Verbesserung der Intelligenzprognose**

Teubert und Kollegen (2011) führen als eine Möglichkeit zur Verbesserung der Prädiktion bei frühkindlichen Untersuchungsmethoden zur Intelligenzprognostik die Verwendung der Minderungskorrektur bzw. der doppelten Minderungskorrektur an. Da mit einem hohen Anteil an Messfehlern gerade in der frühen Kindheit zu rechnen ist, könnte durch diese Vorgehensweise eine stärkere Annäherung an die „wahre“ Korrelation erreicht werden (vgl. Gulliksen, 1987; Lienert & Raatz, 1998). Unter Verwendung dieser Methode konnten Fagan, Holland und Wheeler (2007) einen signifikanten Zusammenhang von  $r = .59$  zwischen Leistungen im Visuellen Paarvergleich bei 7 bis 12 monatigen Säuglingen und ihrem IQ in einem Alter von bis zu 21 Jahren berichten.

Eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung der Intelligenzprognose könnte die Kombination von Leistungsindizes aus verschiedenen Untersuchungsmethoden zur Erfassung der frühkindlichen Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit darstellen (Teubert et al., 2011). So konnten Domsch und Kollegen (2009a) die Prädiktion des späteren IQ verbessern, indem sie unterschiedliche Paradigmen wie den Visuellen Paarvergleich, das Habituations-Dishabituations-Paradigma und das Erwartungs-Induktions-Paradigma gemeinsam als Prädiktoren der Intelligenz verwendeten.

Dougherty und Haith (2002) merken an, dass beispielsweise die Geschwindigkeit der Abnahme der Blickzeit bei der Habituation eine besondere Facette der Informationsverarbeitung darstellt, die von Reaktionszeitmessungen als Indikator der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit abzugrenzen ist. Da die mittlere Reaktionszeit und antizipatorische Leistungen ebenfalls mit unterschiedlichen kognitiven Aspekten in Verbindung gebracht werden können, stellt die Nutzung beider Leistungsindizes eine sinnvolle Vorgehensweise dar, um verschiedene Komponenten der frühkindlichen Kognition anzusprechen<sup>9</sup>. Auch standardmäßig eingesetzte Intelligenztests bestehen aus verschiedenen Untertests die jeweils unterschiedliche Facetten der Intelligenz erfassen. So erscheint es sinnvoll, auch in der frühen Kindheit unterschiedliche Untersuchungsmethoden einzusetzen. Es kann jedoch auch vermutet werden, dass die Verbesserung der Prädiktion in der Studie von Domsch und Kollegen (2009a) darauf basiert, dass die Leistungsfähigkeit der untersuchten Säuglinge zu unterschiedlichen Zeitpunkten erfasst wurde, was zu einer Annäherung der Messung der „wahren“ Leistungsfähigkeit geführt hat.

Eine weitere Möglichkeit der Kombination von Leistungsindizes stellt das Zusammenfassen von Leistungen in Untersuchungsmethoden zur frühkindlichen Leistungsfähigkeit über verschiedene Altersstufen dar. DiLalla und Kollegen (1990) haben die Leistungsindizes im Visuellen Paarvergleich zu 7 und 9 Monate zu einem Wert zusammengefasst (composite score). Dieser composite score und der spätere IQ waren signifikant miteinander assoziiert und diese Korrelation erwies sich als geringfügig höher als die Korrelation zwischen dem IQ und dem Leistungsindex zu 7 Monaten. Zwischen den Leistungen mit 9 Monaten und der Intelligenz konnten sie keinen signifikanten Zusammenhang nachweisen.

<sup>9</sup> Teilweise werden nicht nur reaktive sondern auch antizipatorische Sakkaden bei der Operationalisierung der mittleren Reaktionszeit genutzt (vgl. Abschnitt 3.3.2). Weiterhin kann nicht ausgeschlossen werden, dass es bei der Nutzung von Trennwerten zur Identifizierung antizipatorischer Sakkaden, zu Überlappungen beider Sakkadentypen kommen kann (vgl. Abschnitt 3.2). In diesen Fällen kann nicht ausgeschlossen werden, dass unterschiedliche kognitive Aspekte bei beiden Leistungsindizes per se beteiligt sind. Systematische Untersuchungen hierzu stehen jedoch noch aus.

Da sich bestimmte Facetten der Intelligenz erst im Verlauf der Entwicklung herausbilden (vgl. auch Teubert et al., 2011), spielen nicht nur genetische Grundlagen eine wichtige Rolle. Auch Umwelteinflüsse sind relevante Einflussfaktoren für die Intelligenzentwicklung. Studien belegen Zusammenhänge zwischen der Bildung der Eltern und der kognitiven Leistungsfähigkeit ihrer Kinder (z.B. DiLalla et al., 1990; Domsch et al., 2009a; Laucht, Esser & Schmidt, 1994; Smith, Fagan & Ulvund, 2002 ). Die Aufnahme solcher umweltbezogener Variablen wie dem elterlichen Bildungsabschluss könnte daher die Prädiktion des späteren IQ auf der Basis von Messungen im frühen Kindesalter verbessern. In diesem Kontext sind die Ergebnisse von Gienger, Petermann und Petermann (2008) erwähnenswert. Sie untersuchten den Zusammenhang zwischen dem Bildungsstand der Eltern und der Intelligenz ihrer Kinder zwischen 7 und 14 Jahren. Dabei fielen die Korrelationen zwischen dem Bildungsstand der Eltern und der Messung der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit, als einem der Bestandteile der Intelligenzmessung, am geringsten aus. Sie vermuten, dass die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit weniger stark durch die häusliche Umwelt beeinflusst wird. Bei der Prädiktion des IQ durch Leistungen in frühkindlichen Untersuchungsmethoden die der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit zugeschrieben werden, sollte mit der Umwelt verbundene Einflussfaktoren dementsprechend zusätzlich berücksichtigt werden.

Auch der Einbezug des Temperaments könnte nach Teubert und Kollegen (2011) zu einer Verbesserung der Prädiktion führen. Das frühkindliche Temperament beschreibt das Anspracheverhalten der Säuglinge auf dargebotene Reize und beeinflusst damit auch die im Versuch gezeigte Aufmerksamkeit. Je nach Temperament kann es auch zu Über- oder auch Unterstimulationen durch das Reizangebot kommen. Teubert und Kollegen (2011) weisen jedoch auch auf die zum Teil heterogene Forschungslage betreffend der Einflüsse des Temperaments hin. Neben diesen aufgeführten Faktoren nennen Teubert und Kollegen (2011) das verwendete Stimulusmaterial als vorstellbare Einflussgröße auf die Prädiktion des späteren IQ auf Basis frühkindlicher Untersuchungsmethoden.

## **4.2 Stimulusmaterial und Intelligenzprognose im Erwartungs-Induktions-Paradigma**

Wie in Abschnitt 3.8.1 bereits ausgeführt kann vermutet werden, dass durch eine unterschiedliche Verarbeitung von Stimuli auch unterschiedlich viele kognitive Ressourcen in Anspruch genommen werden. Eine mögliche Erklärung kann darin gesehen werden,

dass unterschiedliches Stimulusmaterial die kognitiven Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses in unterschiedlicher Weise beansprucht. Das Arbeitsgedächtnis kann als kognitiver Prozess aufgefasst werden, bei dem Informationen in einem zugänglichen Zustand gehalten werden, um komplexe kognitive Aufgaben zu lösen. Das Arbeitsgedächtnis ist an Prozessen des Schlussfolgerns und des Verstehens beteiligt, wobei auch auf bereits vorhandene Informationen aus dem Langzeitgedächtnis zurückgegriffen werden kann. Zum Arbeitsgedächtnis existieren verschiedene Modellvorstellungen. In allen Modellen wird jedoch von einer begrenzten Speicherkapazität und einer Kontrollinstanz der Informationsverarbeitung, mit begrenzten Aufmerksamkeitsressourcen ausgegangen. Während sich die Vorstellungen zur Speicherkomponente besonders unterscheiden, stellen sich die Vorstellungen zur Kontrollinstanz weitgehend identisch dar. Die Kontrollinstanz vergibt Prioritäten betreffend der Verarbeitung verschiedener Informationen und überwacht diese Verarbeitung. Sie dient der exekutiven Kontrolle der Aufmerksamkeit. So kann ihr beispielsweise die Fähigkeit, sich auf relevante Informationen zu konzentrieren, zugeschrieben werden (siehe Baddeley, 2012; Cowan, 2005; Engle & Kane, 2004 für einen Überblick).

Unabhängig von der Verschiedenartigkeit der existierenden Modelle des Arbeitsgedächtnisses, kann beim Arbeitsgedächtnis von einem System ausgegangen werden, das eine zentrale Rolle in der Informationsverarbeitung spielt und dessen Kapazität begrenzt ist. Die kognitive Leistungsfähigkeit ist dann beeinträchtigt, wenn die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses durch eine zusätzliche Belastung, zum Beispiel das Merken bestimmter Informationen beim gleichzeitigen Durchführen einer Logik-Aufgabe beansprucht wird (z.B. Baddeley, 1986). Die begrenzte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses stellt somit eine Begrenzung für verschiedene kognitive Leistungen dar (z. B. Engle, Kane & Tuholski, 1999; Just & Carpenter, 1992; Süß, 2001). Die individuelle Kapazität des Arbeitsgedächtnisses hängt dabei stark mit dem IQ zusammen (Kyllonen, 1996; Kyllonen & Christal, 1990; Tuholski, Engle & Baylis, 2001). Nach Engel, Tuholski, Laughlin und Conway (1999) kommt der Instanz der Aufmerksamkeitskontrolle dabei eine hohe Bedeutung zu (vgl. auch Engle, Kane et al., 1999; Kane, Bleckley, Conway & Engle, 2001). Sheppard und Vernon (2008) berichten eine sich verstärkende Verbindung zwischen der Intelligenz und Aufgaben zur Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit bei ansteigender Komplexität der Aufgabe zu Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit. Conway, Cowan, Bunting, Theriault und Minkoff (2002) folgend kann dieser Effekt mit den hohen Speicher- und Aufmerksamkeitsanforderungen an die Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses erklärt werden. Ihnen folgend ist es nicht die Informa-

tionsverarbeitungsgeschwindigkeit per se, die mit der Intelligenz zusammenhängt, sondern der Anspruch an die Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses (siehe auch Cowan, 1998).

Das Ausbilden von visuellen Erwartungen kann dem präfrontalen Kortex zugeschrieben werden, welcher ebenfalls mit dem Arbeitsgedächtnis assoziiert ist (vgl. Abschnitt 3.1). Die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses könnte eine erklärende Größe für die resultierenden Lernleistungen im Erwartungs-Induktions-Paradigma darstellen. Es wurde bereits dargestellt, dass es im Erwartungs-Induktions-Paradigma nicht nur zum Lernen einer räumlich-zeitlichen Sequenz, sondern auch zu einer Verarbeitung des Stimulusmaterials kommt. Diese Verarbeitung geschieht simultan zum Lernen der räumlich-zeitlichen Aspekte einer Sequenz und erfordert ebenfalls kognitive Ressourcen (vgl. Abschnitt 3.8.).

Teubert und Kollegen (2014) gingen der Frage nach, ob die unterschiedliche Verarbeitung von Greebles und Gesichtern zu einer unterschiedlichen Stärke des Zusammenhangs der frühkindlichen Lernleistungen im Erwartungs-Induktions-Paradigma und der späteren Intelligenz führen könnte. Bei Gesichtern sollte es bedingt durch die holistische Verarbeitung zu einer Reduktion der Komplexität des Verarbeitungsprozess kommen, was zu einer geringeren Belastung der Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses führt. Dieser Vorteil liegt bei der analytischen Verarbeitung von Greebles nicht vor. Deshalb sollte die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses bei Greebles stärker beansprucht werden als bei Gesichtern und somit weniger Ressourcen zum Lernen der räumlich-zeitlichen Aspekte der Präsentation zur Verfügung stehen. Bei einer hohen Kapazität des Arbeitsgedächtnisses sollten die Säuglinge beim Lernen mit Greebles jedoch eher in der Lage sein, diese Einschränkungen zu kompensieren, als bei einer geringeren Kapazität. Teubert und Kollegen (2014) gingen deshalb bei der Nutzung von Greebles von einem starken Zusammenhang zur späteren Intelligenz aus. Beim Einsatz von Gesichtern sollte die Aufgabe jedoch weniger Herausforderungen an die Verarbeitungsressourcen stellen und auch bei einer geringeren Kapazität gelingen, was zu einem geringeren Zusammenhang zur späteren Intelligenz führen sollte. Teubert und Kollegen (2014) präsentierten in ihrer Studie 9 Monate alten Säuglingen eine einfache links-rechts Sequenz. Zur Messung des IQs im Alter von 3 Jahren wurde auf die deutsche Version der Kaufman Assessment Battery for Children (Melchers & Preuß, 2009) zurückgegriffen. Die Ergebnisse dieser Studie belegen keine Prädiktion des späteren IQ, wenn beide Versuchsbedingungen (Gesichter versus Greebles) zusammengefasst werden. Es konnte zudem kein Effekt des Stimulusmaterials auf die Leistungen festgestellt werden. Da

nach Teubert und Kollegen (2014) die präsentierte links-rechts Sequenz für die Altersgruppe der 9 Monate alten Säuglinge als relativ einfach anzusehen ist, resultierte eine zu geringe Herausforderung durch die Sequenz, wenn die Versuchsbedingungen nicht differenziert werden. Diese Sichtweise steht in Einklang mit einer steigenden Stärke des Zusammenhangs von Messungen der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit und dem IQ in Abhängigkeit der Komplexität der Aufgabe (Sheppard & Vernon, 2008).

Die Ergebnisse belegen jedoch, dass die Zusammenhänge zur Intelligenz maßgeblich durch das verwendete Stimulusmaterial bestimmt werden. In Moderatoranalysen konnten Teubert und Kollegen (2014) für die mittlere Reaktionszeit und den Prozentsatz der Antizipationen eine signifikante Prädiktion des späteren IQs bei der Verwendung von Greebles nachweisen. Bei der Verwendung von kulturell vertrauten weiblichen Gesichtern wurde hingegen keine Verbindung zwischen der Lernleistung und dem späteren IQ gefunden. Die Studie zeigt, dass das Stimulusmaterial eine relevante Einflussgröße für die Intelligenzprognose durch die Lernleistungen im Erwartungs-Induktions-Paradigma darstellen kann.

Es muss erwähnt werden, dass in der Forschung unterschiedliche Ansichten zum Zusammenspiel der kognitiven Komponenten Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit und Arbeitsgedächtnis bestehen. Studien, die mittels Pfadanalysen die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit, das Arbeitsgedächtnis und die Intelligenz untersuchten, weisen darauf hin, dass Verbesserungen in der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit eine wichtige Rolle für die Entwicklung des Arbeitsgedächtnisses spielen und dass das Arbeitsgedächtnis einen wichtigen Faktor für die Intelligenz darstellt (vgl. Fry & Hale, 1996; Jensen, 1998; Kail & Salthouse, 1994). Auch Baddeley (1986) nimmt an, dass eine höhere Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit die Prozesse im Arbeitsgedächtnis beschleunigt. Das führt dazu, dass mehr Informationen aktiv gehalten werden können und weniger Informationen durch Zerfall oder Interferenz verloren gehen. Conway und Kollegen (2002) und Cowan (1998) gehen jedoch davon aus, dass der Zusammenhang zwischen Messungen der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit und der Intelligenz durch die Anforderungen an die Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses bedingt ist. Sie kritisieren vor allem, dass bei Messungen des Arbeitsgedächtnisses wie beispielsweise bei Fry und Hale (1996) die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses im Sinne einer Kapazität des Zwischenspeichers operationalisiert wird und die Komponente der begrenzten Aufmerksamkeitsressourcen zur Regulierung der Speicherung und simultanen Verarbeitung des Arbeitsgedächtnis unberücksichtigt bleibt. Wenn diese Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses und die Ressourcen des Kurzzeitspeichers sowie

die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit jedoch als latente Variablen in Strukturgleichungsmodellen zur Erklärung der Intelligenz genutzt werden, erscheint der Einfluss des Arbeitsgedächtnisses wesentlich stärker.

*Fazit:* Auf Basis der Studie von Teubert und Kollegen (2014) kann keine empirisch fundierte Aussage über das Zusammenspiel der Fähigkeit zur Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit und dem Arbeitsgedächtnis erfolgen. Im Sinne der theoretischen Überlegungen von Teubert und Kollegen (2014) ist jedoch davon auszugehen, dass die Aufmerksamkeitsressourcen in ihrer Studie je nach genutztem Stimulusmaterial unterschiedlich stark beansprucht wurden. Daraus resultierte eine unterschiedliche Prädiktion der späteren Intelligenz. Der Einbezug dieser kognitiven Komponente des Arbeitsgedächtnisses in Untersuchungsmethoden in der frühen Kindheit könnte eine sinnvolle Ergänzung darstellen.

## **5. Fazit und Implikationen für die weitere Forschung**

Die Ergebnisse dieser Arbeit unterstreichen, dass frühkindliche Untersuchungsmethoden die Möglichkeit zur Vorhersage der späteren Intelligenz bieten. Im Hinblick auf frühkindliche Untersuchungsmethoden lag der Fokus dieser Arbeit auf dem Erwartungs-Induktions-Paradigma. Diese Untersuchungsmethode sowie die am häufigsten genutzten Leistungsindizes wurden beschrieben. Neuronale Veränderungen, Aufmerksamkeitsfluktuationen, motivationale Aspekte auf Seiten der untersuchten Säuglinge, aber auch Merkmale der Aufgaben wie das eingesetzte Stimulusmaterial stellen relevante Einflussfaktoren auf die Messung der frühkindliche kognitiven Leistungsfähigkeit im Erwartungs-Induktions-Paradigma dar. Aus den Darstellungen ergeben sich Implikationen für die zukünftige Forschung, die im weiteren Verlauf dargestellt werden.

Die bisherigen Darstellungen zu den Einflüssen des Stimulusmaterials beschränken sich auf nur wenige Typen von Stimuli. So merken Teubert und Kollegen (2014) als Limitation ihrer Studie an, dass die bisherige Auswahl an Stimuli beschränkt ist. Es sind viele verschiedene weitere Stimuluseffekte im Kontext der Prognose der späteren Intelligenz vorstellbar. So könnte beispielsweise Unterschiede zwischen einfachen computergenerierten Graphiken oder geometrischen Mustern und dynamischen Stimuli betreffend der Prognose des späteren IQs vermutet werden. Auch ein Vergleich der Prädikation auf Basis von Leistungen bei einer enttäuschten Erwartung über den erscheinenden Stimulus gegenüber dem Lernen mit bekanntem Stimulusmaterial könnte einen interessanten Ansatz darstellen. Säuglinge scheinen eine Erwartung betreffend des präsentier-

ten Stimulusmaterials auszubilden, die dann bei einer Enttäuschung zu einer Reduktion der antizipatorischen Leistungen führt. Dies kann mit einer Erhöhung der Aufmerksamkeitsressourcen zur Assimilation der neuen Informationen des Stimulusmaterials begründet werden. Die Assimilation der neuen Informationen führt wiederum zu einer Verringerung der verfügbaren Ressourcen für das Lernen der Sequenz (vgl. Adler & Haith, 2003). Eine stärkere Beanspruchung des Arbeitsgedächtnisses ist auch in diesem Fall anzunehmen.

Eine andere Möglichkeit bietet das Vorgehen von Wentworth und Kollegen (2001). Sie präsentierten 3 Monate alten Säuglingen einen Stimulus in einer links-rechts Sequenz. Nach acht Wiederholungen wechselte der Stimulus und ein anderer Stimulus wurde präsentiert. In der EEG Ableitung zeigte sich, dass die stimulusbezogenen Potentiale je nach Bekanntheit des Stimulus unterschiedlich stark ausgeprägt waren. Es ist vorstellbar, dass bei einem solchen Vorgehen die Fähigkeit zum Lernen einer umweltbasierten Kontingenz und die Geschwindigkeit der Verarbeitung des Stimulus als weitere Komponente der frühkindlichen kognitiven Leitungsfähigkeit gleichzeitig angesprochen werden. Ein solcher Effekt lässt sich auch über eine unterschiedliche Beanspruchung des Arbeitsgedächtnisses erklären. Die Sequenz muss gelernt und der Stimulus verarbeitet und wiedererkannt werden. Bei bekannten Stimuli sollte die Belastung der Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses niedriger ausfallen, bei unbekanntem Stimuli höher.

Teubert und Kollegen (2014) weisen darauf hin, dass die Komplexität der Sequenz einen Einfluss auf das Lernen haben kann. Auch Canfield und Kollegen (1997) gehen davon aus, dass die Sequenzkomplexität mit steigendem Alter der Säuglinge ein zunehmend wichtiger Faktor für die Aufrechterhaltung des Interesses an der Sequenz darstellt und wichtig für das Auftreten von antizipatorischen Reaktionen ist. Weiterhin fehlen jedoch Studien, die in unterschiedlichen Subgruppen die Auswirkungen von verschiedenen Sequenztypen, die Dauer dieser Sequenzen und die Reihenfolge verschiedener Sequenztypen berücksichtigen. Dabei kann nicht nur auf symmetrische und asymmetrische Sequenzen mit zwei Positionen, auf denen das Stimulusmaterial erscheint, zurückgegriffen werden. Eine weitere Möglichkeit, die Komplexität der Sequenz zu verändern, ist die Nutzung einer dritten Position innerhalb der Sequenz. Wentworth und Kollegen (2002) konnten zeigen, dass Säuglinge im Alter von 3 Monaten in der Lage sind, dreistellige räumlich-zeitliche Sequenzen (links-Mitte-rechts-Mitte usw.) zu lernen. Andere Studien belegen, dass 5 Monate alte Säuglinge einfache Sequenzen mit 4 Positionen (z.B. die Abfolge 1-2-3-4-1-2-3-4 usw.) lernen können (Smith 1984; Smith,

Arehart, Haaf & deSaint, 1989; Smith, Jankowski, Brewster & Loboschewski, 1990; Smith, Loboschewski, Davidson & Dixon, 1997). Bei einer Sequenz mit mehr als zwei Positionen ist das Lernen auf Basis der Kontextabhängigkeit der Positionswechsel der Stimuli erschwert. Clohessy und Kollegen (2001) konfrontierten Säuglinge mit einer komplexen Sequenz, die aus drei Positionen bestand (z.B. die Abfolge 1-2-1-3 usw.). Ein kontextabhängiger Wechsel resultiert bei der als Beispiel genannten Sequenz (1-2-1-3) bei einem Wechsel von einem Stimulus auf Position 1 zu einem nachfolgenden Stimulus auf den Positionen 2 oder 3. Für die Vorhersage der nachfolgenden Position (2 oder 3), muss nicht nur die aktuelle (Position 1) sondern auch die vorherige Position (3 oder 2) berücksichtigt werden. Nach einem Stimulus auf Position 1 folgt dann ein Stimulus auf Position 3, wenn ihm ein Stimulus auf Position 2 voraus gegangen war. War dem Stimulus auf Position 1 jedoch ein Stimulus auf Position 3 voraus gegangen, folgte ihm ein Stimulus auf Position 2. Die Wechsel von Position 2 und 3 zu einer nachfolgenden Position sind dagegen eindeutiger, da immer ein Stimulus auf Position 1 folgt. In einem Alter von 4 Monaten ist ein Lernerfolg in dieser Sequenz nachgewiesen worden. Bei 4 und 10 Monate alten Säuglingen resultierten jedoch keine überzufälligen korrekten antizipatorischen Sakkaden bei der Betrachtung der kontextabhängigen Trials (von Position 1 zu Position 2 bzw. Position 3). Ein Lernerfolg bei diesen Wechseln zeigte sich jedoch bei 18 Monate alten Säuglingen. Clohessy und Kollegen (2001) gehen davon aus, dass sich die Fähigkeit des umweltbasierten Kontingenzlernens auch über die frühe Kindheit hinaus weiter entwickelt und dass das Lernen wesentlich von der Schwierigkeit der Sequenz beeinflusst werden kann. Dies steht auch mit Befunden im Erwachsenenalter in Einklang (vgl. Cohen, Irvy & Keele, 1990). Clohessy und Kollegen (2001) nehmen zudem an, dass gerade das Lernen von kontextabhängigen Wechseln mit der Entwicklung frontaler Gehirnstrukturen in Verbindung steht und dass das Lernen kontextabhängigen Wechsel, stärker mit Fähigkeiten zur Regulierung der Aufmerksamkeit in Verbindung steht, als das Lernen eindeutiger Wechsel. Diesen Annahmen folgend kann das Lernen von kontextabhängigen Wechseln ebenfalls stark mit den Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses in Verbindung gebracht werden. Die Unterscheidung zwischen kontextabhängigen und kontextunabhängigen Trials könnte somit ebenfalls einen interessanten Ansatz bei der Prognose der späteren Intelligenz auf Basis frühkindlicher Untersuchungsmethoden darstellen.

Es kann festgehalten werden, dass die Art der Sequenz einen Einfluss auf die Lernleistungen haben kann. Bei der Standardprozedur im Erwartungs-Induktions-Paradigma werden zweistellige Sequenzen präsentiert. Diese können relativ einfach

(z.B. links-rechts) oder komplexer (asymmetrische Sequenzen, z.B. links-links-recht oder link-links-links-rechts) sein. Bei Sequenzen mit mehr als zwei Positionen kann die Komplexität durch die Kontextabhängigkeit der Wechsel variiert werden. Zur genauen Abschätzung der Schwierigkeit der verschiedenen Sequenzarten für bestimmte Altersgruppen in der frühen Kindheit fehlen jedoch noch systematische Untersuchungen, welche auch für den Kontext der Untersuchung von entwicklungsbedingten Veränderungen in der Lernfähigkeit von Bedeutung sein können. Der Einbezug der Wirkung des Stimulusmaterials ist ebenfalls als relevant anzusehen. Das Stimulusmaterial kann in verschiedener Art und Weise das Lernen und die Beanspruchung der kognitiven Ressourcen beeinflussen. Wie diese verschiedenen Faktoren zusammenwirken, kann von besonderem Interesse für künftige Forschungsvorhaben sein.

## 6. Literatur

- Adler, S. A. & Haith, M. M. (2003). The nature of infants' visual expectations for event content. *Infancy*, 4, 89-421.
- Axia, G., Bonichini, S. & Benini, F. (1999). Attention and reaction to distress in infancy: A longitudinal study. *Developmental Psychology*, 35, 500–504.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. Oxford, UK: Clarendon Press.
- Baddeley, A. D. (2012). Working Memory: Theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*, 63, 1–29.
- Baltes, P. B. Staudinger, U. M. & Lindenberger, U. (1999). Lifespan psychology: Theory and application to intellectual functioning. *Annual Review of Psychology*, 50, 471-507.
- Bar-Haim, Y., Ziv, T., Lamy, D. & Hodes, R. M. (2006). Nature and nurture in own-race face processing. *Psychological Science*, 17, 159–163.
- Bartholomew, D.J. (2004). *Measuring intelligence: Facts and fallacies*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Becker, W. (1972). The control of eye movements in the saccadic system. *Bibliotheca Ophthalmologica*. 82, 233-243.
- Belsky, J., Gilstrap, B. & Rovine, M. (1984). The Pennsylvania Infant and Family Development Project: I. Stability and change in mother-infant and father-infant interaction in a family setting at one, three and nine months. *Child Development*, 55, 692-705.
- Benson, J. B., Cherny, S. S., Haith, M. M. & Fulker, D. W. (1993). Rapid assessment of infant predictors of adult IQ: The midtwinmidparent approach. *Developmental Psychology*, 29, 434-447.
- Berg, W. K. & Berg, K. M. (1979). Psychophysiological development in infancy: State, sensory function, and attention. In J. D. Osofsky (Ed.), *Handbook of Infant Development* (pp. 283–343). New York: Wiley.
- Bronson, G. W. (1991). Infant differences in rate of visual encoding. *Child Development*, 62, 44–54.

- Buchner, A. & Frensch, P.A. (2000). Wie nützlich sind Sequenzlernaufgaben? Zum theoretischen Status und der empirischen Befundlage eines Forschungsparadigmas. *Psychologische Rundschau*, 51, 10-18.
- Canfield, R. L. & Haith, M. M. (1991). Young infants' visual expectations for symmetric and asymmetric stimulus sequences. *Developmental Psychology*, 27, 198–208.
- Canfield, R. L. & Kirkham, N. Z. (2001). Infant cortical development and the prospective control of saccadic eye movements. *Infancy*, 2, 197-211.
- Canfield, R. L. & Smith, E. G. (1996). Number-based expectations and sequential enumeration by 5-month-old infants. *Developmental Psychology*, 32, 269-279.
- Canfield, R. L., Smith, E. G., Brezsnyak, M. P. & Snow, K. L. (1997). Information processing through the first year of life. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 62(2, Serial No. 250).
- Canfield, R. L., Wilken, J., Schmerl, L. & Smith, E. G. (1995). Age-related change and stability of individual differences in infant saccade reaction time. *Infant Behavior and Development*, 18, 351-358.
- Cardon, L. R. & Fulker, D. W. (1991). Sources of continuity in infant predictors of later IQ. *Intelligence*, 15, 279-293.
- Carroll, J. B. (2005). The three-stratum theory of cognitive abilities. In D. P. Flanagan & P. L. Harrison (Eds.), *Contemporary intellectual assessment: Theories, tests and issues* (2<sup>nd</sup> ed., pp. 69–76). New York: Guilford.
- Cattell, R. B. (1963). Theory of fluid and crystallized intelligence: A critical experiment. *Journal of Educational Psychology*, 54, 1-22.
- Clohessy, A.B., Posner, M.I. & Rothbart, M.K. (2001). Development of the functional visual field. *Acta Psychologica*, 106, 51–68.
- Cohen, A., Ivry, R. I. & Keele, S. W. (1990). Attention and structure in sequence learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16, 17–30.
- Colombo, J. (1993). *Infant cognition: Predicting later intellectual functioning*. Newbury Park, CA: Sage Publications.
- Colombo, J. (2001). The development of visual attention in infancy. *Annual Review of Psychology*, 52, 337-367.

- Colombo, J., Mitchell, D. W. & Horowitz, F. D. (1988). Infant visual attention in the paired-comparison paradigm: Test-retest and attention-performance relations. *Child Development, 59*, 1198-1210.
- Conway, A. R. A., Cowan, N., Bunting, M. F., Therriault, D. J. & Minkoff, S. R. B. (2002). A latent variable analysis of working memory capacity, short-term memory capacity, processing speed, and general fluid intelligence. *Intelligence, 30*, 163–183.
- Cowan, N. (1998). What is more explanatory: processing capacity or processing speed? *Behavioral and Brain Sciences, 21*, 835–836.
- Cowan, N. (2005). *Working Memory Capacity*. Hove, UK: Psychological Press.
- Coyle, T. R., Pillow, D. R., Snyder, A. C. & Kochunov, P. (2001). Processing speed mediates the development of general intelligence (g) in adolescence. *Psychological Science, 22*, 1265–1269.
- Curby, K. M., Glazek, K. & Gauthier, I. (2009). A visual short-term memory advantage for objects of expertise. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance, 35*, 94–107.
- DiLalla, L. E., Thompson, L. A., Plomin, R., Phillips, K., Fagan, J. F., Haith, M. M. et al. (1990). Infant predictors of preschool and adult IQ: A study of infant twins and their parents. *Developmental Psychology, 26*, 759–769.
- Domsch, H., Lohaus, A. & Thomas, H. (2009b). Learning and retention in three- and six-month-old infants: A comparison of different experimental paradigms. *The European Journal of Developmental Psychology, 6*, 396-407.
- Domsch, H., Lohaus, A. & Thomas, H. (2009a). Prediction of childhood cognitive abilities from a set of early indicators of information processing capabilities. *Infant Behavior and Development, 32*, 91–102.
- Dougherty, T. M. & Haith, M. M. (1997). Infant expectations and reaction time as predictors of childhood speed of processing and IQ. *Developmental Psychology, 33*, 146-155.
- Dougherty, T. M. & Haith, M.M. (2002). Infants' use of constraints to speed information processing and to anticipate events. *Infancy, 3*, 457-473.
- Engle R. W. & Kane M. J. (2004). Executive attention, working memory capacity and two-factor theory of cognitive control. In: B. Ross (Eds.) *The Psychology of Learning and Motivation* (pp. 145–99). New York: Elsevier.

- Engle, R. W., Kane, M. J. & Tuholski, S. W. (1999). Individual differences in working memory capacity and what they tell us about controlled attention, general fluid intelligence, and functions of the prefrontal cortex. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of working memory. Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 102-134). Cambridge, UK: University Press.
- Engle, R. W., Tuholski, S. W., Laughlin, J. E. & Conway, A. R. A. (1999). Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: A latent-variable approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, *128*, 309-331.
- Fagan, J. F. (2000). A theory of intelligence as processing: Implications for society. *Psychology, Public Policy, and Law*, *6*, 168-179.
- Fagan, J. F., Holland, C. R. & Wheeler, K. (2007). The prediction, from infancy, of adult IQ and achievement. *Intelligence*, *35*, 225-231.
- Fassbender, I., Lohaus, A., Thomas, H., Teubert, M., Vierhaus, M., Spangler, S., et al. (2012). Association learning with own- and other-race faces in three- and six-month-old infants – A longitudinal study. *Infant and Child Development*, *21*, 325-337.
- Ferguson, K. T., Kulkofsky, S., Cashion, C. H. & Casasola, M. (2009). The Development of specialized processing of own-race faces in infancy. *Infancy*, *14*, 263–284.
- Fischer, K. W. & Silvern, L. (1985). Stages and individual differences in cognitive development. *Annual Review of Psychology*, *36*, 613-648.
- Fry, A. F. & Hale, S. (1996). Processing speed, working memory, and fluid intelligence: Evidence for a developmental cascade. *Psychological Science*, *7*, 237-241.
- Fry, A. F. & Hale, S. (2000). Relationships among processing speed, working memory, and fluid intelligence in children. *Biological Psychology*, *54*, 1–34.
- Gage, M. & Berliner, D. (1996). *Pädagogische Psychologie*. Bonn: Psychologie Verlags Union.
- Gauthier, I., Behrmann, M. & Tarr, M. J. (2004). Are Greebles like faces? Using the neuropsychological exception to test the rule. *Neuropsychologia*, *42*, 1961-1970.
- Gauthier, I. & Tarr, M. J. (1997). Becoming a "Greeble" expert: Exploring mechanisms for face recognition. *Vision Research*, *37*, 1673-1682.
- Gienger, C, Petermann, F. & Petermann, U. (2008). Wie stark hängen die HAWIK-IV-Befunde vom Bildungsstand der Eltern ab? *Kindheit und Entwicklung*, *17*, 90–98.

- Goldstein, E. B. (2002). *Wahrnehmungspsychologie* (2. Aufl.). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Goldstein, E. B. (2008). *Cognitive psychology: Connecting mind, research, and everyday experience* (2<sup>nd</sup> ed.). Belmont, CA: Thomson Wadsworth.
- Goren, C. C., Sarty, M. & Wu, P. Y. (1975). Visual following and pattern discrimination of face-like stimuli by newborn infants. *Pediatrics*, *56*, 544–549.
- Goswami, U. (2001). *So denken Kinder: Einführung in die Psychologie der kognitiven Entwicklung*. Bern: Hans Huber.
- Grossberg, S. (1995). The attentive brain. *American Scientist*, *83*, 438-449.
- Gulliksen, H. (1987). *Theory of mental tests*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Haith, M. M., Benson, J. B., Roberts JR, R. J. & Pennington, B. F. (1994). *The development of future-oriented processes*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Haith, M. M., Hazan, C. & Goodman, G. G. (1988). Expectation and anticipation of dynamic visual events by 3.5-month-old babies. *Child Development*, *59*, 467-479.
- Haith, M. M. & McCarty, M. E. (1990). Stability of visual expectations at 3.0 months of age. *Child Development*, *26*, 68–74.
- Haith, M. M., Wass, T. S. & Adler, S. A. (1997). Infant visual expectations: Advances and issues. [Commentary]. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, *62*(2, Serial No. 250).
- Haith, M. M., Wentworth, N. & Canfield, R. L. (1993). The formation of expectations in early infancy. In C. Rovee Collier & L. P. Lipsitt (Eds.), *Advances in infancy research* (pp. 251-297). Norwood, NJ: Ablex.
- Hanes, D. P., Patterson, W. F. & Schall, I. D. (1998). Role of frontal eye fields in countermanding saccades: Visual, movement, and fixation activity. *Journal of Neurophysiology*, *79*, 817-834.
- Jacobson, S. W., Jacobson, J. L., O'Neill, J. M., Padgett, R. J., Frankowski, J. J. & Bihun, J. T. (1992). Visual expectation and dimensions of infant information processing. *Child Development*, *63*, 711-724.
- Jensen, A. R. (1998). *The g-factor. The science of mental ability*. Westport, CT: Praeger.

- Johnson, M. H. (1990). Cortical maturation and the development of visual attention in early infancy. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2, 81-95.
- Johnson, M. H. (2005). *Developmental cognitive neuroscience: An introduction* (2<sup>nd</sup> ed.). Malden, MA: Blackwell Publishers.
- Johnson, M. H. & Morton, J. (1991). *Biology and cognitive development: The case of face recognition*. Oxford; UK: Blackwell.
- Johnson, M. H., Dziurwicz, S., Ellis, H. & Morton, J. (1991). Newborns' preferential tracking of face-like stimuli and its subsequent decline. *Cognition*, 40, 1-19.
- Just, M. A. & Carpenter, P. A. (1992). A capacity theory of comprehension: Individual differences in working memory. *Psychological Review*, 99, 122-149.
- Kagan, J. (1971). *Change and continuity in infancy*. New York: Wiley.
- Kail, R. (2000). Speed of information processing: Developmental change and links to intelligence. *Journal of School Psychology*, 38, 51-61.
- Kail, R. & Salthouse, T. A. (1994). Processing speed as a mental capacity. *Acta Psychologica*, 86, 199-225.
- Kane, M. J., Bleckley, M. K., Conway, A. R. A. & Engle, R. W. (2001). A controlled-attention view of working memory capacity. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130, 169-183.
- Karnath, H.-O. & Thier, P. (2012). *Kognitive Neurowissenschaften* (3. Aufl.). Heidelberg: Springer-Verlag.
- Kaufman, J., Gilmore, R. O. & Johnson, M. H. (2006). Frames of reference for anticipatory action in 4-month-old infants. *Infant Behavior & Development*, 29, 322-333.
- Kavšek, M. (2004a). Predicting later IQ from infant visual habituation and visual response to novelty: A meta-analysis. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 25, 369-393.
- Kavšek, M. (2004b). Die Reliabilität von visuellen Habituations- und Dishabituationsmaßen. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 36, 83-94.
- Keating, E. G. (1991). Frontal eye field lesions impair predictive and visually-guided pursuit eye movements. *Experimental Brain Research*, 86, 311-323.

- Keller, H. (2000). Human parent–child relationships from an evolutionary perspective. *American Behavioural Scientist*, *43*, 957–969.
- Kelly, D. J., Liu, S., Lee, K., Quinn, P. C., Pascalis, O., Slater et al. (2009). Development of the other-race effect during infancy: Evidence toward universality? *Journal of Experimental Child Psychology*, *104*, 105–114.
- Kelly, D. J., Quinn, P. C., Slater, A. M., Lee, K., Ge, L. & Pascalis, O. (2007). The other-race effect develops during infancy. *Infancy*, *18*, 1084–1089.
- Krauzlis, R. I., Basso, M. A. & Wurtz, R. H. (2000). Discharge properties of neurons in the rostral superior colliculus of the monkey during smooth-pursuit eye movements. *Journal of Neurophysiology*, *84*, 876-891.
- Kustov, A. A. & Robinson, D. L. (1996). Shared neural control of attentional shifts and eye movements. *Nature*, *384*, 74-77.
- Kyllonen, P. C. (1996). Is working memory capacity Spearman's g? In: I. Dennis, & P. Tapsfield (Eds.), *Human abilities: Their nature and measurement* (pp. 49–75). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Kyllonen, P. C. & Christal, R. E. (1990). Reasoning ability is (little more than) working-memory capacity?! *Intelligence*, *14*, 389-433.
- Laucht, M., Esser, G. & Schmidt, M. H. (1994). Contrasting infant predictors of later cognitive functioning. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *35*, 649-662.
- Leahy, R. L. (1976). Development of preferences and processes of visual scanning in the human infant during the first 3 months of life. *Developmental Psychology*, *12*, 250–254.
- Lewis, M. & Johnson N. (1971). What's thrown out with the bath water: A baby? *Child Development*, *42*, 1053–1055.
- Lewkowicz, D. J. & Ghazanfar, A. A. (2009). The emergence of multisensory systems through perceptual narrowing. *Trends in Cognitive Sciences*, *13*, 470–478.
- Lienert, G.A. & Raatz, U. (1998). *Testaufbau und Testanalyse* (6. Aufl.). Weinheim: Psychologische Verlags Union, Beltz.
- Lissman, I., Korntheuer, P. & Lohaus, A. (2007). Assoziation zwischen der Kompetenz zur Kontingenzerkennung im Alter von drei und sechs Monaten und dem Entwick-

- lungsstand im Alter von ein und zwei Jahren. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 39, 187-195.
- Lohaus, A., Keller, H., Lissmann, I., Ball, J., Borke, J. & Lamm, B. (2006). Eye contact and social contingency experiences from 3 to 6 months of age and their relation to the detection of non-social contingencies. *European Journal of Developmental Psychology*, 3, 388-401.
- Lohaus, A. & Vierhaus, M. (2013). *Entwicklungspsychologie des Kindes- und Jugendalters*. Heidelberg: Springer.
- Macchi Cassia, V., Turati, C. & Simion, F. (2004). Can a nonspecific bias toward top-heavy patterns explain newborns' face preference? *Psychological Science*, 15, 379–383.
- Maurer D., LeGrand, R. & Mondloch C. J (2002). The many faces of configural processing. *Trends in Cognitive Science*, 6, 255–260.
- McCall, R. B. (1994). What process mediates predictions of childhood IQ from infant habituation and recognition memory? Speculations on the roles of Inhibition and rate of information processing. *Intelligence*, 18, 107-125.
- McCall, R. B. & Carriger, M. S. (1993). A meta-analysis of infant habituation and recognition memory performance as predictors of later IQ. *Child Development*, 64, 57-79.
- Meissner, C. A. & Brigham, J. C. (2001). Thirty years of investigating the own-race bias memory for faces: A meta-analytic review. *Psychology, Public Policy and Law*, 7, 3–35.
- Melchers, P. & Preuß, U. (1994). *Kaufmann-assessment battery for children (K-ABC)*. Amsterdam: Swets & Zeitlinger.
- Melchers, P. & Preuß, U. (2009) *Kaufmann Assessment Battery for Children* (8. Aufl.). Frankfurt/Main: Pearson Assessment.
- Moran, G., Dumas, J. E. & Symons, D. K. (1992). Approaches to sequential analysis and description of contingency in behavioral interaction. *Behavioral Assessment*, 14, 65-92.
- Nelson, C. A. (1995). The ontogeny of human memory: A cognitive neuroscience perspective. *Developmental Psychology*, 31, 723-738.

- Nelson, C. A. (2001). The development and neural bases of face recognition. *Infant and Child Development, 10*, 3–18.
- Nelson, C. A. (2002). The neurobiological basis of early memory development. In N. Cowan (Ed.), *The development of memory in childhood* (pp. 41-82). Hove, East Sussex: Psychology Press.
- Pauen, S. (2006). Infant cognitive psychology and the understanding of learning processes. *European Psychologist, 11*, 263-265.
- Phillips, J. O., Finocchio, D. V., Ong, L. & Fuchs, A. F. (1997). Smooth pursuit in 1- to 4-month-old human infants. *Vision Research, 37*, 3009–3020.
- Reznick, J. S., Chawarska, K. & Betts, S. (2000). The development of visual expectations in the first year of life. *Child Development, 71*, 1191–1204.
- Rose, S. A. (1989). Measuring infant intelligence: New perspectives. In M. H. Bornstein & N. A. Krasnegor (Eds.), *Stability and continuity in mental development: Behavioral and bi-ological perspectives* (pp. 171–188). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Rose, S. A., Feldman, J. F. & Jankowski, J. J. (2003). Infant visual recognition memory: Independent contributions of speed and attention. *Developmental Psychology, 39*, 563-571.
- Rose, A. S., Feldman, J. F. & Jankowski, J. J. (2004). Dimensions of cognition in infancy. *Intelligence, 32*, 245–262.
- Rose, S. A., Feldman, J. F. & Jankowski, J. J. (2005). The structure of infant cognition at 1 year. *Intelligence, 33*, 231-250.
- Rose, S. A., Feldman, J. F., Jankowski, J. J. & Caro, D. M. (2002). A longitudinal study of visual expectation and reaction time in the first year of life. *Child Development, 73*, 47–61.
- Rose, S. A., Feldman, J. F., Jankowski, J. J. & Van Rossem, R. (2005). Pathways from prematurity and infant abilities to later cognition. *Child Development, 76*, 1172-1184.
- Rose, S. A., Feldman, J. F., Jankowski, J. J. & Van Rossem, R. (2008). A cognitive cascade in infancy: Pathways from prematurity to later mental development. *Intelligence 36*, 367-378.

- Rost, D. H. (2009). *Intelligenz: Mythen und Fakten*. Weinheim: Beltz/Psychologie Verlagsunion.
- Sangrigoli, S. & de Schonen, S. (2004). Recognition of own-race and other-race faces by three-month-old infants. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *47*, 1219–1227.
- Saslow, M. G. (1967). Effects of components of displacement-step stimuli upon latency of saccadic eye movements. *Journal of Optical Society of America*, *57*, 1024-1029.
- Schwarzer, G., Spangler, S. M. & Freitag, C. (2011). Entwicklung der Verarbeitung von Gesichtern. In H. Keller (Hrsg.), *Handbuch der Kleinkindforschung* (4. Aufl., S. 490-515). Bern: Hans Huber
- Sheppard, L. D. & Vernon, P. A. (2008). Intelligence and speed of information processing: A review of 50 years of research. *Personality and Individual Differences*, *44*, 535-551.
- Sidman, R. & Rakic, P. (1982). Development of the human central nervous system. In W. Haymaker & R. D. Adams (Eds.), *Histology and histopathology of the nervous system* (pp. 3-145). Springfield, IL: Charles C Thomas.
- Slater, A. (1995). Individual differences in infancy and later IQ. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, *36*, 69-112.
- Smith, P. H. (1984). Five-month-old infants' recall of temporal order and utilization of temporal organization. *Journal of Experimental Child Psychology*, *38*, 400–414.
- Smith, P. H., Arehart, D. M., Haaf, R. A. & deSaint, V. C. M. (1989). Expectancies and memory for spatiotemporal events in 5-month-old infants. *Journal of Experimental Child Psychology*, *47*, 210–235.
- Smith, L., Fagan, J. F. & Ulvund, S. E. (2002). The relation of recognition memory in infancy and parental socioeconomic status to later intellectual competence. *Intelligence*, *30*, 247–259.
- Smith, P. H., Jankowski, J. J., Brewster, M. & Loboschefski, T. (1990). Preverbal infant response to spatiotemporal events: Evidence of differential chunking abilities. *Infant Behavior and Development*, *13*, 129–146.
- Smith, P. H., Loboschefski, T., Davidson, B. K. & Dixon, W. E., Jr. (1997). Scripts and checkerboards: The influence of ordered visual information on remembering locations in infancy. *Infant Behavior and Development*, *20*, 549–552.

- Spangler, S. M., Freitag, C., Schwarzer, G., Vierhaus, M., Teubert, M., Lamm, B. et al. (2011). Recognition of faces and Greebles in 3-month-old infants: Influence of temperament and cognitive abilities. *International Journal of Behavioral Development*, 35, 432-440.
- Sternberg, J. S. (2007). Individual differences in cognitive development. In U. Goswami (Ed.), *Blackwell handbook of childhood cognitive development* (pp. 601-619). Oxford, UK: Blackwell.
- Süß, H.-M. (2001). Prädiktive Validität der Intelligenz im schulischen und außerschulischen Bereich. In E. Stern & J. Guthke (Hrsg.), *Perspektiven der Intelligenzforschung*. Lengerich: Pabst.
- Tamis-LeMonda, C. S. & McClure, J. (1995). Infant visual expectation in relation to feature learning. *Infant Behavior and Development*, 18, 427-434.
- Tarabulsky, G. M., Tessier, R. & Kappas, A. (1996). Contingency detection and the contingent organization of behavior in interactions: Implications and socioemotional development in infancy. *Psychological Bulletin*, 120, 25-41.
- Teubert, M., Lohaus, A., Fassbender, I., Vierhaus, M., Spangler, S., Borchert, S. et al. (2012). The influence of stimulus material on attention and performance in the visual expectation paradigm: A longitudinal study with 3- and 6-month-old infants. *International Journal of Behavioral Development*, 36, 374-380.
- Teubert, M., Lohaus, A., Fassbender, I., Vöhringer, I. A., Suhrke, J., Poloczek, S. et al. (2014). Moderation of Stimulus Material on the Prediction of IQ with Infants' Performance in the Visual Expectation Paradigm: Do Greebles make the task more Challenging? *Manuscript submitted for publication*.
- Teubert, M., Vierhaus, M. & Lohaus, A. (2011). Frühkindliche Untersuchungsmethoden zur Intelligenzprognostik. *Psychologische Rundschau*, 62, 70-77.
- Tuholski, S. W., Engle, R. W. & Baylis, G. C. (2001). Individual differences in working memory capacity and enumeration. *Memory & Cognition*, 29, 484-492.
- Valenza, E., Simion, F., Macchi Cassia, V. & Umiltà, C. (1996). Face preference at birth. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22, 892-903.

- Watson, J. S. (1979). Perception of contingency as a determinant of social responsiveness. In E. B. Thoman (Ed.), *Origins of the infants social responsiveness* (pp. 33–64). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Watson, J. S. (1994). Detection of self: The perfect algorithm. In S. T. Parker, R. W. Mitchell & M. L. Boccia (Eds.), *Self-awareness in animals and humans: Developmental perspectives* (pp. 131-148). New York: Cambridge University Press.
- Wechsler, D. (1989). *Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence-Revised (WPPSI-R)*. San Antonio, TX: Psychological Corporation.
- Wentworth, N. & Haith, M. M. (1992). Event-specific expectations of 2- and 3-month-old infants. *Developmental Psychology*, 28, 842-850.
- Wentworth, N. & Haith, M. M. (1998). Infants' acquisition of spatiotemporal expectations. *Developmental Psychology*, 34, 247-257.
- Wentworth, N., Haith, M. M. & Hood, R. (2002). Spatiotemporal regularity and interevent contingencies as information for infants' visual expectations, *Infancy*, 3, 303-321.
- Wentworth, N., Haith, M. M. & Karrer, R. (2001). Behavioral and cortical measures of infants' visual Expectations. *Infancy*, 2, 175–195.
- Wolff, P. H. (1966). The causes, controls, and organization of behavior in the neonate. *Psychological Issue*, 5, 7–11.

## Überblick über die Schriften des Kumulus

### *Erste Schrift.*

Teubert, M., Vierhaus, M. & Lohaus, A. (2011). Frühkindliche Untersuchungsmethoden zur Intelligenzprognostik. *Psychologische Rundschau*, 62(2), 70–77.

### *Zweite Schrift.*

Teubert, M., Lohaus, A., Fassbender, I., Vierhaus, M., Spangler, S. M., Borchert, S., Freitag, C., Goertz, C., Graf, F., Gudi, H., Kolling, T., Lamm, B., Keller, H., Knopf, M. & Schwarzer, G. (2012). The Influence of Stimulus Material on Attention and Performance in the Visual Expectation Paradigm: A Longitudinal Study with Three- and Six-Month-Old Infants. *International Journal of Behavioral Development*, 36(5), 374–380.

### *Dritte Schrift.*

Teubert, M., Lohaus, A., Fassbender I., Vöhringer, I. A., Suhrke, J., Poloczek, S., Freitag, C., Lamm, B., Teiser, J., Keller, H., Knopf, M. & Schwarzer, G. (2014). Moderation of Stimulus Material on the Prediction of IQ with Infants' Performance in the Visual Expectation Paradigm: Do Greebles make the task more Challenging? *Manuscript submitted for publication.*

## Erklärung

"Hiermit erkläre ich, dass ich die Dissertation selbst angefertigt habe, keine Textabschnitte von Dritten oder eigener Prüfungsarbeiten ohne Kennzeichnung übernommen und alle von mir benutzten Hilfsmittel und Quellen meiner Arbeit angegeben habe. Die geltende Promotionsordnung der Fakultät für Psychologie und Sportwissenschaft der Universität Bielefeld ist mir bekannt. Ich versichere außerdem, das Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Vermittlungstätigkeiten oder für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der von mir vorgelegten Dissertation stehen. Die vorgelegte Arbeit wurde weder als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht noch wurde die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung, bei einer anderen Hochschule im Inland noch im Ausland noch an einer anderen Fakultät der Universität Bielefeld als Dissertation eingereicht.

Ferner bestätige ich, dass Die Schriften des Kumulus von mir selbstständig erarbeitet und verfasst wurden. Ich war an der Organisation und Durchführung der Datenerhebung beteiligt und wertete die Daten selbstständig aus. Revisionen nach den Anmerkungen der Gutachter sind ebenfalls von mir selbstständig durchgeführt worden. Die Beteiligung meiner Koautoren umfasste die Betreuung der Arbeit und Änderungsvorschläge an früheren Fassungen der Manuskripts, die ich eigenständig umgesetzt habe. Sie waren auch an der Organisation und Durchführung der Datenerhebung beteiligt oder unterstützen mich beratend bei statistischen Auswertungen."

Bielefeld, 04.09.2014

---

Manuel Teubert

