

**Integrative Synopsis der wissenschaftlichen Veröffentlichungen zur
kumulativen Dissertation zur Erlangung des Titels eines Dr. phil.
der Fakultät für Verhaltens- und Empirische Kulturwissenschaften
der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg**

Titel:

**Physiologische und behaviorale Korrelate
der Kategorisierung in der frühen Kindheit:
Herzrate, ereigniskorrelierte Potentiale, Blickzeiten**

vorgelegt von

Dipl. Psych. Susanna Jeschonek

Begutachtung: Prof. Dr. Sabina Pauen
Psychologisches Institut der Universität Heidelberg

Prof. Dr. Joachim Funke
Psychologisches Institut der Universität Heidelberg

**„Physiologische und behaviorale Korrelate der Kategorisierung in der frühen Kindheit:
Herzrate, ereigniskorrelierte Potentiale, Blickzeiten“**

Liste der wissenschaftlichen Veröffentlichungen zur kumulativen Dissertation

- I)** Elsner, B., Pauen, S., & Jeschonek, S. (2006). Physiological and behavioral parameters of infants' categorization: changes in heart rate and examination duration across trials. *Developmental Science*, 9, 551-556.
- II)** Elsner, B., Jeschonek, S., & Pauen, S. (under review). Animate-inanimate distinction in infant event-related potentials and looking times.
- III)** Jeschonek, S., Marinovic, V., Hoehl, S., Elsner, B., & Pauen, S. (2010). Do animals and furniture items elicit different brain responses in human infants? *Brain & Development*, doi:10.1016/j.braindev.2009.11.010

Inhalt

1.	Einführung	5
2.	Kategorisierung	7
2.1.	Entwicklungsverlauf der Kategorisierung natürlicher Objekte.....	8
2.2.	Perzeptuelle und konzeptuelle Aspekte der präverbalen Kategorisierung.....	9
3.	Korrelate präverbaler Objektkategorisierung	10
3.1.	Vergleich der Indikatoren frühkindlicher Kategorisierung auf behavioraler Ebene mit Herzratenveränderungen (Schrift I)	11
3.2.	Vergleich der Indikatoren frühkindlicher Kategorisierung auf behavioraler Ebene mit hirnpfysiologischen Korrelaten (Schrift II).....	14
3.3.	Neue Ansätze bei der Erforschung hirnpfysiologischer Korrelate der frühkindlichen Kategorisierung (Schrift III).....	18
3.4.	Fazit.....	21
	Literatur.....	23

1. Einführung

Der Vorgang der Kategorisierung strukturiert unsere Wahrnehmung und erleichtert unser tägliches Leben. Dabei ist für uns Erwachsene die Einordnung von Umweltreizen in verschiedene Gruppen ein alltäglicher Vorgang, den wir meistens nicht mehr bewusst wahrnehmen. Gleichzeitig stellt die Kategorisierung jedoch zweifelsohne eine sehr komplexe kognitive Fertigkeit dar. Dies wird deutlich, wenn wir uns einige der vielen uns geläufigen Kategorien vergegenwärtigen bzw. die jeweiligen Regeln, nach denen einzelne Exemplare Kategorien zugeordnet werden. So finden wir beispielsweise in der Literatur die Kategorie des Kriminalromans. Diese wird hauptsächlich dadurch charakterisiert, dass im Mittelpunkt der Erzählung ein Verbrechen sowie seine Aufklärung durch einen Ermittler stehen. Gleichzeitig gehört der Kriminalroman in die allgemeine Sparte der Belletristik – im Gegensatz zu einem Sachbuch. Abgrenzen lässt er sich dabei zum Genre des Thrillers, welcher durch eine fast fortwährend präsente Spannung gekennzeichnet ist und in dessen Mittelpunkt gewöhnlich der Sieg über einen gefährlichen Widersacher steht. Wenn jemand uns erzählt, er lese gerade einen ‚Krimi‘, dann wissen wir sofort, was wir uns darunter vorstellen können.

Nun lässt sich, natürlich nicht im Bereich der Literatur, dafür jedoch im Kontext der Objektkategorisierung, beobachten, dass Kleinkinder bereits im Alter von nur wenigen Monaten gewisse Formen von Kategorien bilden und erkennen können. Die Untersuchung, wie genau sie das tun, ist Gegenstand vieler aktueller Studien der Säuglingsforschung.

Generell werden bei der Kategorisierung von Objekten zwei Prozesse unterschieden: Zum einen die Verarbeitung perzeptueller Merkmale, d.h. der äußerlich sichtbaren Eigenschaften, wie Form oder Farbe, zum anderen die Beschäftigung mit konzeptuellen Merkmalen, wie funktionalen oder kausalen Eigenschaften. Letztere können häufig nicht unmittelbar wahrgenommen, sondern müssen erst erschlossen werden. Erwachsene beziehen bei der Objektkategorisierung im Allgemeinen beide Informationsquellen ein. Auf welcher der beiden Arten von Eigenschaften die Objektkategorisierung während des ersten Lebensjahres nun vorwiegend oder oftmals beruht, wird von Entwicklungspsychologen kontinuierlich diskutiert. Hierbei sind die unterschiedlichen theoretischen Erklärungsansätze mitunter stark von der jeweils verwendeten Untersuchungsmethode beeinflusst.

Die Erforschung des frühkindlichen Objektwissens und der beteiligten kognitiven Fähigkeiten gestaltet sich per se nicht unproblematisch. Aufgrund der mangelnden verbalen Kompetenz der Probanden stellt die systematische Verhaltensbeobachtung dabei generell einen wichtigen Aspekt dar. So beruhen die gängigen Methoden zur Untersuchung

frühkindlicher Kategorisierung auf der Beobachtung von Veränderungen der Aufmerksamkeit während dem Kind zunächst mehrere Exemplare einer Kategorie präsentiert werden und während anschließend ein Exemplar einer neuen Kategorie dargeboten wird. Auf der Verhaltensebene werden hierbei die Dauer der Blickzuwendung (wenn Bilder von Objekten präsentiert werden) sowie die Dauer der aktiven Exploration (wenn dreidimensionale Objekte dargeboten werden) als Korrelate von Aufmerksamkeitsprozessen untersucht. Immer mehr an Bedeutung gewinnen aber auch psychophysiologische Maße, wie die Messung der Herzrate oder der EEG-Aktivität. Diese Maße spiegeln ebenfalls den Zustand der Aufmerksamkeit wider. Da die Erhebung psychophysiologischer Daten mittlerweile bereits im Säuglingsalter relativ problemlos durchzuführen ist, können sie als objektive Indikatoren präverbaler kognitiver Fertigkeiten erfasst und untersucht werden.

In jüngster Zeit rückt die Erforschung der genauen Zusammenhänge zwischen psychophysiologischen und behavioralen Indikatoren der frühkindlichen Aufmerksamkeit, und somit auch der frühkindlichen Kategorisierung, immer mehr in den Fokus. Dabei können sowohl Parallelen als auch Differenzen zwischen den Datenmustern der behavioralen und physiologischen Aufmerksamkeitskorrelate zu neuen Erkenntnissen hinsichtlich der frühkindlichen Objektkategorisierung führen. Die Verwendung psychophysiologischer Messungen bietet außerdem generell die Möglichkeit, das Spektrum der experimentellen Paradigmen, die im Rahmen frühkindlicher Kategorisierungsstudien traditionell eingesetzt werden, gewinnbringend zu erweitern.

Das vorliegende Promotionsprojekt untersucht, wie und welche Kategorien Säuglinge im ersten Lebensjahr unterscheiden. Mein eigener Beitrag ist im Text jeweils durch Verweis auf die entsprechende Publikation (**Schrift I bis III**) gekennzeichnet. Der Fokus liegt hierbei auf den Unterschieden und Gemeinsamkeiten zwischen den behavioralen und den psychophysiologischen Korrelaten der präverbaler Kategorisierung.

2. Kategorisierung

Wie würde sich unser Alltag gestalten, wenn wir nicht über die Fähigkeit verfügen würden, auf bereits bestehende Kategorien zurückzugreifen, um neue Objekte oder Ereignisse einzuordnen und zu begreifen? Die Zahl der einzelnen Sinneseindrücke wäre kaum zu bewältigen und würde unsere kognitiven Verarbeitungskapazitäten wahrscheinlich stark überfordern. Durch den Prozess der Kategorisierung wird den Sinneseindrücken eine Bedeutung zugeschrieben (Ashby & Maddox, 2005). Unsere Erfahrung hilft uns, einzelne Stimuli in Kategorien zusammenzufassen, die es uns wiederum ermöglichen, in zahlreichen Situationen schnell ein adäquates Verhalten zu zeigen. Ist diese Pflanze genießbar oder giftig? Handelt es sich bei dieser Person um einen Freund oder um einen Feind? Eine Zuordnung der Umweltreize zu Klassen oder Kategorien, erlaubt uns differenzierte Reaktionen, die uns letztendlich das Überleben sichern können.

Doch ab wann können wir Objekte in verschiedene Gruppen einteilen bzw. Objekte verschiedenen Gruppen zuordnen? Zahlreiche Forschungsergebnisse legen mittlerweile nahe, dass Kinder bereits sehr früh auf kategoriale Unterschiede reagieren, die einer Erwachsenen-Definition entsprechen. Hierunter fallen beispielsweise Tierkategorien wie Hund, Katze oder Landtier aber auch Kategorien wie Essen, Möbel oder Fahrzeuge (z.B. Ross, 1980; Mandler & McDonough, 1993; Quinn, Eimas, & Rosenkrantz, 1993; Oakes, Coppage, & Dingle, 1997). Bei den genannten Kategorien handelt es sich um *natürliche Objektkategorien*. Im Gegensatz zu künstlichen Kategorien weist jedes Exemplar einer natürlichen Objektkategorie nur einige Merkmale aus der Gesamtheit aller Eigenschaften auf, die für seine Klasse charakteristisch sind (Rosch, Mervis, Gray, Johnson, & Boyes-Braem, 1976). Das vorliegende Projekt beschäftigt sich ausschließlich mit dieser Art von Kategorien.

Es lässt sich erkennen, dass die oben beispielhaft angeführten Kategorien einen unterschiedlichen Abstraktionsgrad aufweisen. So ist die Kategorie ‚Tiere‘ weitaus umfassender als beispielsweise die Kategorie ‚Katze‘, ebenso wie ‚Möbel‘ eine umfangreichere Kategorie darstellt als ‚Tische‘. Die Begriffe sind auf unterschiedlichen Ebenen der Kategorisierung angesiedelt. Generell sind natürliche Kategorien in einer hierarchischen Struktur von drei Ebenen angeordnet (Rosch et al., 1976): der Basis-Ebene (*basic level*), einer ihr übergeordneten (*superordinate / global level*) sowie einer ihr untergeordneten Ebene (*subordinate level*). Auf dem *basic level* finden wir Kategorien, deren jeweilige Mitglieder eine große perzeptuelle Ähnlichkeit untereinander, d.h. innerhalb der Kategorie aufweisen, und zur selben Zeit Exemplaren aus anderen Kategorien dieser Ebene wenig ähnlich sehen (z.B. Hunde und Katzen). Die Kategorien des *global level* hingegen

zeichnen sich durch eine geringe perzeptuelle Ähnlichkeit zwischen den Exemplaren einer Kategorie aus (z.B. Tiere oder Möbel). Auf dem *subordinate level* wiederum herrscht eine große Ähnlichkeit der Exemplare sowohl innerhalb als auch zwischen den Kategorien (z.B. Schäferhunde und Collies).

Vieles spricht dafür, dass Kinder zunächst nicht parallel auf allen Ebenen Kategorien bilden, sondern dass sie ihr kategoriales System sukzessive aufbauen. Der Frage, wie diese Entwicklung verläuft, d.h. auf welcher Abstraktionsebene Kinder zuerst Kategorien bilden, ist in zahlreichen Untersuchungen nachgegangen worden.

2.1. Entwicklungsverlauf der Kategorisierung natürlicher Objekte

Rosch und Kollegen (Rosch et al., 1976) stellten die These auf, dass Kategorien des *basic level* am einfachsten zu erlernen sein müssten, da die äußeren Merkmale einzelner Kategorienmitglieder eine klare Klassifikation von Objekten erlaubten. Das Erlernen von Kategorien des *global level* hingegen sollte aufwändiger sein, da hier eine eindeutige Zuordnung durch die geringe perzeptuelle Ähnlichkeit zwischen den Exemplaren derselben Kategorie erschwert wird. Dementsprechend sollten nach Ansicht der Autoren auch die Kategorien des *subordinate level* grundsätzlich schwer zu erschließen sein. Dies sei der großen perzeptuellen Ähnlichkeit der Exemplare auch zwischen den Kategorien geschuldet.

Mittlerweile liegen zahlreiche Untersuchungen aus dem Bereich der frühkindlichen Kategorisierung vor, die dieser traditionellen Annahme einer Entwicklung von spezifischen hin zu globalen Kategorieebenen widersprechen. So konnte beispielsweise gezeigt werden, dass Kinder im Alter von 7 bis 24 Monaten eher zwischen globalen Repräsentationen wie Tieren und Fahrzeugen oder Möbeln unterscheiden als zwischen Exemplaren des *basic level* wie etwa zwischen Pferden und Hunden oder Autos und Lastwagen (Mandler, Bauer, & McDonough, 1991; Mandler & McDonough, 1993, Pauen, 2002b). Auch experimentelle Arbeiten mit jüngeren Kindern legen eher eine Entwicklung nahe, bei der globale Kategorien vor spezifischeren Klassifikationen unterschieden werden. Quinn und Johnson (2000) berichten, dass bereits zwei Monate alte Kinder eine globale Kategorierepräsentation formen können, in die sie Exemplare von Säugetieren nicht jedoch von Möbeln aufnehmen. Gleichzeitig gelingt es ihnen in diesem Alter noch nicht, die Kategorie der Katzen von Hunden, Hasen oder Elefanten zu unterscheiden. Während im Alter von drei bis vier Monaten die Kinder auch weiterhin zwischen den beiden Kategorien Säugetiere und Möbel differenzieren (Behl-Chadha, 1996), sind sie nun auch in der Lage, zwischen Repräsentationen auf dem *basic level* zu unterscheiden. Im Bereich der Tiere grenzen sie

erfolgreich die Kategorie der Katzen von denjenigen der Vögel, Hunde, Pferde und Tiger ab sowie die Kategorie der Pferde von Katzen, Giraffen und Zebras (Eimas & Quinn, 1994).

Die berichteten empirischen Befunde weisen somit letztlich auf den Trend einer *global-to-basic* Entwicklung der frühkindlichen Kategorisierung hin. Dabei lässt sich erkennen, dass einer der ersten globalen Kategorieunterschiede, den Kinder erkennen, derjenige zwischen Lebewesen und unbelebten Objekten ist (Behl-Chadha, 1996; Mandler & McDonough, 1993, 1998; Pauen, 2002a, 2002b; Quinn & Johnson, 2000). Wie angeführt, mag es aus traditioneller Sicht verwundern, dass ausgerechnet ein Unterschied zwischen globalen Kategorien Kindern am frühesten zugänglich ist, da Exemplare derselben Kategorie auf dieser Ebene nur wenige Gemeinsamkeiten in der äußeren Erscheinung teilen. Es muss jedoch festgehalten werden, dass insbesondere die Unterscheidung zwischen Lebewesen und unbelebten Objekten einen fundamentalen Aspekt in unserem Dasein darstellt und wir somit für eine sehr frühe Erkennung von Lebewesen prädestiniert sein könnten. So konnte gezeigt werden, dass Kinder bereits im Alter von sieben Monaten über unterschiedliche Erwartungen hinsichtlich des Fortbewegungsverhaltens von Menschen (Morton & Johnson, 1991) oder unbekanntem Lebewesen (Spelke, Phillips, & Woodward, 1995; Pauen & Träuble, 2009) im Vergleich zu unbelebten Objekten verfügen. Inwiefern sich Korrelate dieser belebt-unbelebt Unterscheidung während des ersten Lebensjahres auch auf physiologischer Ebene finden lassen, ist eine Kernfrage des vorliegenden Promotionsprojekts.

Einen weiteren Aspekt bildet die Art der frühkindlichen Kategorisierung auf die im folgenden Abschnitt eingegangen werden soll.

2.2. Perzeptuelle und konzeptuelle Aspekte der präverbalen Kategorisierung

Wie aus der dargestellten Übersicht deutlich wird, gibt es zahlreiche Hinweise darauf, dass Kleinkinder bereits sehr früh in der Lage sind, kategoriale Unterschiede verschiedener Hierarchiestufen wahrzunehmen. Die Frage nach den Kriterien, auf denen diese frühe Objektkategorisierung beruht, wird weiterhin kritisch debattiert. Während Erwachsene ihre Objektkategorisierung grundsätzlich auf sowohl die Verarbeitung perzeptueller Merkmale als auch konzeptueller Kriterien - die sich auf nicht direkt sichtbare kausale oder funktionale Eigenschaften beziehen - stützen, ist auf Grund der impliziten Erfassungsmethode der Kategorisierung bei Kleinkindern, eine eindeutige Identifizierung der beteiligten Prozesse nur schwer möglich. In Verhaltensstudien dienen als Indikatoren für frühkindliche Kategorisierung Veränderungen der Aufmerksamkeit, wenn zunächst mehrere unterschiedliche Exemplare einer Kategorie präsentiert werden und anschließend ein

Exemplar einer neuen Kategorie dargeboten wird. Dabei bleibt die Frage offen, ob die Kinder eher auf die wahrnehmbaren äußeren Ähnlichkeiten zwischen den Exemplaren achten und auf dieser Basis eine Kategorie im Laufe der Aufgabe bilden (vgl. Quinn & Johnson, 2000), oder ob sie bereits schon über konzeptuelles Objektwissen verfügen, welches ihren Kategorisierungsprozess beeinflusst (vgl. Mandler, 2003; Pauen, 2002a; Träuble & Pauen, 2007, 2009). Mandler (2004) unterscheidet in diesem Zusammenhang zwischen Familiarisierungsaufgaben, in denen Kindern Objekte zur freien Exploration und Manipulation zur Verfügung gestellt werden, und Familiarisierungsaufgaben, in denen Kindern Bilder von Objekten präsentiert werden (vgl. auch 3.1). Sie argumentiert, dass Aufgaben, in denen Kinder die Objekte selber manipulieren könnten, einen höheren Grad an aktiver Beschäftigung auf Seiten der Kinder erforderten und deswegen bereits erworbenes konzeptuelles Wissen erfassten. Aufgaben, in denen Kindern Bilder von Objekten präsentiert würden, spiegelten hingegen eine passive online Kategorisierung wider. Jedoch gibt es gleichzeitig auch Hinweise, dass tatsächlich unabhängig von der Darbietungsart der einzelnen Exemplare, sowohl perzeptuelle als auch konzeptuelle Prozesse an der frühkindlichen Kategorisierung beteiligt sind (Younger & Furrer, 2003). Die zwei Aufgabenarten unterscheiden sich zwar bezüglich der Informationen, die sie den Kindern zur Verfügung stellen, sie bedienen sich aber letztendlich beide des Familiarisierungsparadigmas, welches eine eindeutige Unterscheidung zwischen den beteiligten Kategorisierungsprozessen nicht erlaubt. Was genau dieses Paradigma kennzeichnet, soll im Zusammenhang mit den behavioralen Indikatoren der Kategorisierung bei Kleinkindern erläutert werden.

3. Korrelate präverbaler Objektkategorisierung

Wie bereits dargestellt, gestaltet sich die Erforschung frühkindlicher Kategorisierung aufgrund der mangelnden verbalen Kompetenzen nicht unproblematisch. Um diesen Mangel zu umgehen, vertraut die Säuglingsforschung traditionell auf die systematische Verhaltensbeobachtung. In der jüngeren Vergangenheit hielten nun auch psychophysiologische Untersuchungen Einzug in die frühkindliche Kategorisierungsforschung. In beiden Bereichen werden im Endeffekt immer Rückschlüsse von Veränderungen in der Aufmerksamkeit auf die Unterscheidung bestimmter Kategorien gezogen.

3.1. Vergleich der Indikatoren frühkindlicher Kategorisierung auf behavioraler Ebene mit Herzratenveränderungen (Schrift I)

Den meisten Verhaltensstudien zur Objektkategorisierung in der frühen Kindheit liegt das Familiarisierung-Neuheitspräferenz-Paradigma zugrunde. Hierbei werden den Kindern zunächst in mehreren Familiarisierungsdurchgängen eine begrenzte Anzahl unterschiedlicher Exemplare aus einer bestimmten Kategorie dargeboten (z.B. Möbel). In einer anschließenden Testphase bekommen die Kinder dann ein oder mehrere Exemplare einer kontrastierenden Kategorie gezeigt (z.B. Tiere). Wenn die Kinder während der Familiarisierungsphase die Objekte trotz ihrer perzeptuellen Unterschiede derselben Kategorie zuordnen, sollte sich ihre Aufmerksamkeit über die einzelnen Durchgänge hinweg verringern. Analog dazu sollte ihre Aufmerksamkeit in der Testphase wieder zunehmen, wenn die Kinder erkennen, dass das präsentierte Exemplar nicht nur rein äußerlich, sondern auch auf kategorialer Ebene, von den zuvor gezeigten Objekten verschieden ist. Bei der behavioralen Erfassung der frühkindlichen Aufmerksamkeit werden grundsätzlich zwei verschiedene Methoden unterschieden.

Bei der sogenannten *visual familiarization-preference-for-novelty task* (VFPNT) werden Bilder von Objekten dargeboten. Erfasst wird hierbei, wie lange das Kind ein gegebenes Bild aus einer bestimmten Kategorie anschaut. Die gesamte Blickdauer auf ein Objekt dient somit als Maß der kindlichen Aufmerksamkeit.

Einen alternativen Ansatz zur Erfassung der frühkindlichen Aufmerksamkeit im Kategorisierungskontext bietet die Präsentation realistischer Spielzeugmodelle der jeweiligen Objekte. In dieser Aufgabe können die Kinder die Kategoriemitglieder folglich nicht nur anschauen, sondern auch manuell frei explorieren. Dieses Verfahren ist bekannt als die *object examination task* (OET). Da diese Methode gewisse motorische Fertigkeiten der Kinder erfordert, wird sie erst ab der zweiten Hälfte des ersten Lebensjahres eingesetzt. Ruff (1984, 1986) beobachtete während einer OET bei Kindern unterschiedliche Verhaltensweisen, die ihrer Ansicht nach unterschiedliche Aufmerksamkeitszustände widerspiegeln. So reflektiert das *examining*, bei dem das Kind ein Objekt mit konzentriertem Gesichtsausdruck manipuliert, einen Zustand fokussierter Aufmerksamkeit, der mit einer aktiven Informationsaufnahme einhergeht. Dagegen sei der Vorgang des *looking* - eines reinen Betrachtens des Objekts - ein Indikator für einen nicht-explorativen Zustand der Aufmerksamkeit (*casual attention*). Bei dieser Untersuchungsmethode gilt somit nicht mehr die Gesamtblickzeit als Maß für Aufmerksamkeit bzw. die frühkindliche Kategorisierung, sondern die Examinationsdauer, die wiederum eine Untermenge der gesamten Blickdauer darstellt (Oakes, Madole, & Cohen, 1991; Ruff, 1986). Während die Auftrittshäufigkeit und

Dauer anderer Verhaltensweisen mit zunehmender Gewöhnung an ein Objekt unverändert bleiben, nimmt die Examinationsdauer über die Zeit hinweg kontinuierlich ab (Oakes et al., 1991; Ruff, 1986).

Beide beschriebenen Untersuchungsmethoden ziehen ein behaviorales Maß heran, um die mit der Kategorisierung korrelierten Aufmerksamkeitsprozesse zu erfassen: Zum einen die Blickdauer und zum anderen die Examination als Untermenge der gesamten Blickdauer. Diese Maße haben den Vorteil, dass sie der Beobachtung leicht zugänglich sind. Eine weitere Möglichkeit, Aufmerksamkeitsprozesse zu erfassen, bieten physiologischen Messverfahren. Hierbei entfällt die Analyse der Daten durch unabhängige Kodierer und somit eine mögliche Quelle von Fehlern oder Ungenauigkeiten der Messwerte, wie sie bei den Blick- bzw. Examinationszeiten nicht vollständig ausgeschlossen werden kann.

Als zuverlässig und einfach in der Umsetzung hat sich sowohl bei Erwachsenen als auch bei Kindern die Messung der Herzrate als einem Indikator der Aufmerksamkeit erwiesen (z.B. Porges, 1972; Porges & Raskin, 1969; Richards, 1987; Richards & Casey, 1992). Eines der Ziele der von Elsner, Pauen und Jeschonek (**Schrift I**) durchgeführten Studie war es herauszufinden, inwiefern die Herzrate ein alternatives bzw. ergänzendes Maß bei der Untersuchung frühkindlicher Kategorisierung bieten kann. Ein vergleichbarer Untersuchungsansatz lag bis dato nicht vor.

Bereits früh konnte ein systematischer Zusammenhang zwischen der Herzrate und bestimmten Aufmerksamkeitszuständen beobachtet werden (vgl. Graham, 1979). Insbesondere wurde festgestellt, dass Phasen der fokussierten Aufmerksamkeit von einer Abnahme der Herzfrequenz begleitet werden. Diese Erkenntnis führte in den letzten Jahren auch Säuglingsforscher dazu, das Verhältnis zwischen behavioralen Maßen der Aufmerksamkeit und der Herzrate näher zu untersuchen (z.B. Colombo, Richman, Shaddy, Greenhoot, & Maikranz, 2001; Richards & Casey, 1991). Hierbei konnte festgestellt werden, dass bereits bei Kleinkindern verschiedene Aufmerksamkeitszustände mit Veränderungen der Herzrate einhergehen. So ist während einer Objektexamination eine verringerte Herzrate hauptsächlich in Phasen der Examination festzustellen (Lansink & Richards, 1997; Lansink, Mintz & Richards, 2000). Dies deutet darauf hin, dass Examination in der Tat einen behavioralen Indikator für fokussierte Aufmerksamkeit darstellt (vgl. Ruff, 184, 1986). Gleichzeitig bleibt jedoch festzuhalten, dass keine vollkommene Übereinstimmung zwischen der Herzrate und den behavioralen Aufmerksamkeitsmaßen vorliegt. So wird Examination manchmal auch von einer Erhöhung der Herzfrequenz begleitet (Lansink & Richards, 1997). Ferner sind gerade im Übergang zwischen Examination und neutralen Blickverhalten die

Verbindungen der Verhaltensmaße mit der Herzrate nicht immer eindeutig (Lansink et al., 2000).

Während Untersuchungen der Zusammenhänge von Herzratenveränderungen und Aufmerksamkeitszuständen bei Kleinkindern während einer einmaligen Objektexamination bereits vorlagen (Lansink & Richards, 1997; Lansink et al. 2000), gab es bis dato keine Analyse bezüglich möglicher Veränderungen der Herzfrequenz über mehrere Durchgänge der Objektexamination hinweg. Da im Kontext der frühkindlichen Kategorisierung eben dieser methodische Ansatz zum Tragen kommt, führten Elsner, Pauen und Jeschonek (**Schrift I**) eine Studie mit 11 Monate alten Kindern durch, in der sie im Rahmen einer OET neben den behavioralen Aufmerksamkeitsmaßen auch die Herzrate erfassten. Während der Familiarisierung wurden den Kindern Objekte aus einer der beiden globalen Kategorien ‚belebt‘ und ‚unbelebt‘ (Tiere oder Möbel) präsentiert und anschließend im Testdurchgang ein Objekt aus der kontrastierenden Kategorie angeboten. Wenn die Kinder die kategoriale Ähnlichkeit der Objekte in der Familiarisierungsphase erkannten, sollte ihre Aufmerksamkeit über die Durchgänge hinweg abnehmen. Dies sollte sich auf behavioraler Ebene in einer Abnahme der Examinationszeit zeigen. Wenn eine erhöhte Aufmerksamkeit gleichzeitig mit einer verringerten Herzrate verbunden wäre, ließen sich hinsichtlich der Familiarisierungsphase folgende Annahmen machen: Die durchschnittliche Examinationszeit sollte am Ende der Familiarisierungsphase niedriger sein als zu Beginn. Analog hierzu sollte die mittlere Herzfrequenz in den letzten Durchgängen der Familiarisierung höher ausfallen im Vergleich zu den ersten Durchgängen. In der Tat ließ sich bezüglich der Herzrate die erwartete Veränderung beobachten. Das durchschnittliche Examinationsverhalten veränderte sich jedoch nicht von der ersten zur zweiten Hälfte der Familiarisierungsphase. Dass in Kategorisierungsstudien kein Familiarisierungseffekt hinsichtlich der Examinationszeit zu beobachten ist, ist jedoch per se nicht ungewöhnlich (z.B. Behl-Chadha, 1996; Mandler & McDonough, 1998). Dies impliziert nicht, dass die Kinder die kategorialen Gemeinsamkeiten der einzelnen Familiarisierungsobjekte nicht wahrnehmen. Vielmehr kann dies darauf zurückzuführen sein, dass jedes Objekt auch neue perzeptuelle Information bietet, die von den Kindern verarbeitet werden müssen und somit ihre Aufmerksamkeit auf einem hohen Niveau halten (Oakes, Madole, & Cohen, 1991). Wenn die Kinder auch die kategorialen Gemeinsamkeiten der Objekte beachten, sollte sich dies auf jeden Fall in einem Anstieg der Examinationszeit vom letzten Familiarisierungsdurchgang zum Testdurchgang widerspiegeln. Parallel hierzu sollte die Herzrate verglichen mit dem letzten Durchgang der Familiarisierung im Testdurchgang sinken. Ein solcher Kategorisierungseffekt konnte in der Studie von Elsner

et al. sowohl auf der behavioralen als auch auf der physiologischen Ebene festgestellt werden. Für die Diskrepanz zwischen behavioralen und physiologischen Maßen in der Familiarisierungsphase kommt als mögliche Erklärung eine höhere Sensibilität der physiologischen Messvariablen in Frage. Die Veränderungen der Herzrate könnten demnach eine genauere Erfassung der mit einer kategorialen Familiarisierung assoziierten kognitiven Prozesse darstellen. Ferner wurde bereits von Lansink und anderen (Lansink & Richards, 1997; Lansink, Mintz, & Richards, 2000) festgestellt, dass physiologische und behaviorale Maße der Aufmerksamkeit nur teilweise übereinstimmen. Die divergenten Ergebnisse der unterschiedlichen Messmethoden könnten auf unterschiedlichen zugrunde liegenden kognitiven Prozessen beruhen. Sowohl die Herzrate als auch die Examination stellen indirekte Aufmerksamkeitsmaße dar – möglicherweise erfassen sie dabei Prozesse verschiedener Aufmerksamkeitssysteme bzw. verschiedene Aspekte eines komplexen Systems (Lansink & Richards, 1997).

Insgesamt unterstützen die Ergebnisse dieser Studie erneut die Annahme, dass Kinder bereits in ihrem ersten Lebensjahr die Kategorien ‚belebt‘ und ‚unbelebt‘ unterscheiden können. Insbesondere gelang es im Rahmen dieser Studie auch, systematische Zusammenhänge zwischen behavioralen und physiologischen Aufmerksamkeitsmaßen in einer Kategorisierungsaufgabe über mehrere Durchgänge hinweg aufzuzeigen. So ließ sich feststellen, dass die durchschnittliche Herzrate in Phasen der Examination über alle Durchgänge hinweg am niedrigsten war. In Phasen des neutralen Blickverhaltens befand sie sich auf einem mittleren Niveau und in den übrigen Phasen, in denen sich das Kind nicht mit dem Objekt auseinandersetzte, war sie am höchsten. Der behavioral definierte Zustand der höchsten Aufmerksamkeit wurde somit von der niedrigsten durchschnittlichen Herzrate begleitet und umgekehrt. Diese Daten bieten eindeutig weitere Belege dafür, dass Examination fokussierte Aufmerksamkeit reflektiert, während neutrales Blickverhalten eher eine beiläufige Form der Aufmerksamkeit darstellt (Lansink & Richards, 1997; Lansink et al. 2000; Ruff, 1984, 1986). Es bleibt festzuhalten, dass die Herzrate als objektives Maß zur Erfassung der frühkindlichen Aufmerksamkeit und der damit verbundenen Prozesse der Kategorisierung herangezogen werden kann.

3.2. Vergleich der Indikatoren frühkindlicher Kategorisierung auf behavioraler Ebene mit hirnphysiologischen Korrelaten (Schrift II)

In jüngster Zeit hat das Interesse an den neuronalen Grundlagen der frühen kognitiven Entwicklung stark zugenommen und zu einem rasanten Anstieg des Einsatzes von

Elektroencephalogram (EEG) sowie ereigniskorrelierten Potentialen (EKPs) in der Säuglingsforschung geführt (vgl. de Haan, 2007 für einen Überblick).

Während im Bereich der Erwachsenenforschung zahlreiche Befunde zu hirnpfysiologischen Korrelaten der Kategorisierung vorliegen (z.B. Damasio, Grabowski, Tranel, & Hichwa, 1996; De Renzi & Lucchelli, 1994; Kiefer, 2001; Sim & Kiefer, 2005; Tanaka, Luu, Weisbrod, & Kiefer, 1999), sind Untersuchungen zur Kategorisierung bei Kindern bisher rar (Batty & Taylor, 2001; Ellis & Nelson, 1999). Ebenso liegen in der Säuglingsforschung bis heute nur wenige Studien vor, die Kategorisierung anhand von EKPs untersuchen (Grossmann, Gliga, Johnson, & Mareschal, 2009; Quinn, Westerlund, & Nelson, 2006). Bei den letztgenannten Studien liegt der Fokus auf der *negative central component* (Nc), einem gut erforschten EKP, das bei Kleinkindern als Reaktion auf einen visuellen Reiz zu beobachten ist. Die Nc tritt bei 6 Monate alten Säuglingen ca. 400-600 ms nach Stimulusbeginn auf, mit maximalen Amplituden über fronto-zentralen Elektroden (Ackles & Cook, 1998, Courchesne, Ganz, & Norcia, 1981; Karrer & Monti, 1995; Nelson & Collins, 1991). Es wird mehrheitlich angenommen, dass die Nc Aufmerksamkeits- und/oder Gedächtnisprozesse widerspiegelt: Eine erhöhte Aufmerksamkeitszuwendung wird von einer stärkeren Ausprägung der Nc begleitet (Nelson, 1994; Richards, 2003). In EKP-Studien zur frühkindlichen Kategorisierung wurde, nach einer Familiarisierungsphase mit unterschiedlichen Bildern von Objekten einer bestimmten Kategorie (z.B. Fische), eine erhöhte Nc-Amplitude als Reaktion auf die Präsentation von neuen Reizen aus einer kontrastierenden Kategorie (z.B. Autos) im Vergleich zu neuen Reizen aus der bekannten Kategorie beobachtet (Grossmann et al., 2009; Quinn et al., 2006).

Eine weitere EKP-Komponente, die bei Säuglingen mit Aspekten der visuellen Aufmerksamkeit und Wiedererkennung in Verbindung gebracht wird, ist die *long-latency slow wave* (SW), die 1000-1500 ms nach Stimulusbeginn auftritt. Meist ist diese Komponente am stärksten über zentralen und frontalen Regionen ausgeprägt (Nelson, Wewerka, Thomas, deRegnier, Tribbey-Wallbridge, & Geogheff, 2000). Bei 6 Monate alten Kindern lösen Reize die wiederholt aber selten präsentiert werden, normalerweise eine *positive slow wave* aus (PSW). Es wird angenommen, dass die PSW eine Aktualisierung eines nur teilweise enkodierten Stimulus reflektiert und somit einen Indikator für Gedächtnisleistungen (*recognition memory*) darstellt (z.B. de Haan, & Nelson, 1997; Nelson & Collins, 1991). In ihrer Studie zur Kategorisierung bei Säuglingen fanden Grossmann und Kollegen (Grossmann et al., 2009) eine größere PSW für die neuen Reize der bekannten Kategorie im Vergleich zu neuen Reizen der unbekannteren Kategorie.

Zur Erforschung von EKPs der visuellen Aufmerksamkeit wurde bei Säuglingen häufig das Oddball-Paradigma herangezogen. Hierbei wird in die wiederholte Präsentation eines einzigen Standard-Reizes hin und wieder ein seltener Oddball-Reiz eingestreut. Bezüglich der Nc fanden einige Autoren, dass sie für den Oddball-Reiz im Vergleich zum Standard-Reiz eine erhöhte Amplitude aufweist (Courchesne, Ganz, & Norcia, 1981; Karrer & Monti, 1995; Reynolds & Richards, 2005). Sie interpretieren die Nc deshalb als ein Korrelat der Diskrimination vertrauter und unbekannter bzw. unerwarteter Reize. Hingegen beobachteten andere Autoren keinen Unterschied in der Nc-Amplitude für den Standard- und den Oddball-Reiz (Nelson & DeRegnier, 1992). Jedoch hatten sie vor der EEG-Untersuchung die Kinder mit beiden Reizen familiarisiert. Folglich interpretieren diese Autoren die Nc als ein Korrelat der obligatorischen Aufmerksamkeit, der als Reaktion auf alle Reize auftritt.

Um die neurophysiologischen und behavioralen Korrelate der frühkindlichen Verarbeitung von Reizen der beiden globalen Kategorien ‚belebt‘ und ‚unbelebt‘ zu untersuchen, führten Elsner, Jeschonek und Pauen (**Schrift II**) zwei Studien mit 7 Monate alten Kindern durch, bei denen sie identisches Material verwendeten. In der EKP-Studie verwendeten sie hierzu ein modifiziertes kategoriales Oddball-Paradigma. Dabei wurde den Kindern häufig das Bild eines einzelnen Standard-Reizes aus einer Kategorie präsentiert (Möbel oder Tier), während zwei unterschiedliche Oddball-Reize gleich selten in die Präsentation eingestreut wurden. Einer der beiden Oddball-Reize stammte aus derselben Kategorie wie der Standard-Reiz, der andere hingegen aus der kontrastierenden Kategorie. Wenn die Kinder die Oddball-Reize generell als neu erkannten, sollte als Reaktion die Nc-Amplitude für sie höher ausfallen im Vergleich zu dem Standard-Reiz. Dies war an den fronto-zentralen Elektroden tatsächlich der Fall. Die Kinder zeigen demnach eine Neuheitsreaktion für beide Oddball-Reize. Wenn die Kinder zusätzlich die kategorialen Informationen der Oddball-Reize berücksichtigten, sollte für den Oddball-Reiz aus der kontrastierenden Kategorie (Oddball-different) eine erhöhte Nc-Amplitude im Vergleich zu dem Oddball-Reiz derselben Kategorie (Oddball-same) zu beobachten sein. Dieser Unterschied konnte nicht festgestellt werden. Es ließ sich jedoch ein Unterschied hinsichtlich der Nc-Latenz konstatieren: Der Oddball-different erzeugte eine längere Latenz als der Oddball-same. Da einige Studien, die das klassische Oddball-Paradigma verwendet haben, eine größere Nc-Latenz als Reaktion auf den Oddball-Reiz im Vergleich zu dem Standard-Reiz feststellten (z.B. Courchesne et al., 1981; Hill-Karrer et al., 1998), kann der vorliegende Latenz-Unterschied möglicherweise eine verstärkte Neuheitsreaktion auf den Oddball-different reflektieren.

Hinsichtlich der PSW wurde eine stärker ausgeprägte Positivierung als Reaktion auf den Oddball-different erwartet. Dies würde auf einen erhöhten Bedarf an Aktualisierung für den seltenen Reiz aus der kontrastierenden Kategorie hinweisen. Dieser Effekt konnte über zentralen und parietalen Regionen festgestellt werden. Als Reaktion auf den Standard-Reiz kehrte an der parietalen Elektrode zusätzlich die *late slow wave* zu ihrem Baseline-Niveau zurück.

In der Verhaltensstudie sahen die Kinder dieselben Stimulusbilder wie in der EKP-Studie. Dabei wurde zunächst der Standard-Reiz aus einer Kategorie (Möbel oder Tiere) in mehreren Durchgängen gezeigt. Anschließend wurden in der Testphase die Bilder des Oddball-same und des Oddball-different nebeneinander präsentiert. Die Blickzeit für den Standard-Reiz nahm über die Durchgänge hinweg ab. Sie stieg in der Testphase als Reaktion auf die Oddball-Reize wieder an. Die Kinder hatten somit auf den Standard-Reiz habituiert und reagierten generell mit einer gesteigerten Aufmerksamkeit auf die Präsentation der neuen Stimuli. Jedoch konnte kein Unterschied zwischen den Blickzeiten für den Oddball-same und den Oddball-different festgestellt werden. Dies bedeutet, die Aufmerksamkeit der Kinder verteilte sich ungefähr gleich auf die Stimuli, egal ob sie der Kategorie des zuvor gezeigten Standard-Reizes oder der kontrastierenden Kategorie angehörten.

Vergleicht man die Ergebnisse der EKP-Studie und der Verhaltensstudie miteinander, so stellt man sowohl Parallelen als auch Differenzen in den Daten fest: Zunächst gibt es eine Kongruenz hinsichtlich der Enkodierung und Wiedererkennung des Standard-Reizes. Diese manifestiert sich auf der physiologischen Ebene in einer geringen Nc-Amplitude und einer Rückkehr der *late slow wave* zum Ursprungsniveau sowie behavioral in einer Abnahme der Blickzeiten über die Habitationsdurchgänge hinweg. Auch die Diskrimination der Oddball-Reize von dem Standard-Reiz spiegelt sich in beiden Studien wider. Beide Oddball-Reize erzeugten sowohl eine erhöhte Nc-Amplitude als auch längere Blickzeiten im Vergleich zu dem Standard-Reiz. Hinsichtlich der Frage, in wiefern die Kinder bei der Verarbeitung der Reize auch kategoriale Informationen beachtet haben, divergieren die Ergebnisse der beiden Studien. Während die Nc-Latenz für den Oddball-Reiz der kontrastierenden Kategorie länger war als für den Oddball-Reiz der vertrauten Kategorie sowie für den Oddball-different ebenfalls eine stärker ausgeprägte PSW vorlag als für den Standard-Reiz, reagierten die Kinder in der Verhaltensstudie nicht unterschiedlich auf die beiden Oddball-Reize.

Es sollte beachtet werden, dass die Stimuli im Vorfeld so ausgesucht worden waren, dass sich die Exemplare aus denselben Kategorien (d.h. Standard-Reiz und Oddball-same) perzeptuell stark unterschieden, während diejenigen aus den kontrastierenden Kategorien (d.h.

Standard-Reiz und Oddball-different) sich perzeptuell ähnelten. Somit legen die vergleichbaren Neuheitsreaktionen bezüglich der beiden Oddball-Reize den Schluss nahe, dass die Kinder sowohl perzeptuelle als auch kategoriale Informationen bei der Verarbeitung der Stimuli beachteten. Ferner sei darauf hingewiesen, dass solche Unterschiede zwischen EKPs und behavioralen Maßen bereits in früheren Studien berichtet worden sind (z.B. Nelson & Collins, 1991). Sie können die Folge spezifischer Aspekte der jeweiligen Messmethode darstellen. Beispielsweise bieten die EKPs Informationen mit einer sehr hohen zeitlichen Auflösung im Millisekundenbereich. Hingegen werden Blickzeiten über eine sehr viel längere Zeitspanne erfasst und können somit kurzfristige Prozesse überlagern. Letztlich erfassen die beiden Methoden möglicherweise ähnliche aber nicht identische kognitive Prozesse. Die neurophysiologischen Daten könnten hierbei sogar einen sensitiveren Indikator darstellen.

Generell haben sich auch in dieser Studie die EKPs als ein Indikator der frühkindlichen visuellen Aufmerksamkeit im Kontext der Kategorisierung bewährt. Aufgrund der hohen zeitlichen Auflösung dieser objektiven Daten und der damit verbundenen Darbietungsart der Stimuli ergeben sich mit den EKP-Studien neue methodische Ansätze, die über die Möglichkeiten der reinen Verhaltensstudien hinausgehen und beispielsweise auch neue Erkenntnisse hinsichtlich der Rolle perzeptueller und kategorialer Informationen im Bereich der frühkindlichen Kategorisierung liefern können.

3.3. Neue Ansätze bei der Erforschung hirnpfysiologischer Korrelate der frühkindlichen Kategorisierung (Schrift III)

In einer weiteren EKP-Studie haben Jeschonek, Marinovic, Hoehl, Elsner und Pauen (**Schrift III**) verschiedene Exemplare der globalen Kategorie ‚Möbel‘ und der globalen Kategorie ‚Tiere‘ gleich häufig präsentiert. In dieser Versuchsanordnung waren alle Stimuli perzeptuell verschieden und unterschieden sich – im Gegensatz zu der Studie von Elsner, Jeschonek und Pauen (**Schrift II**) - nicht in ihrer Darbietungshäufigkeit. Während in der letztgenannten Studie die kategoriale Zugehörigkeit der Stimuli mit ihrer jeweiligen Präsentationsfrequenz noch konfundiert war, konnte in der Studie von Jeschonek et al. hingegen der Einfluss der Kategorie auf die Verarbeitung der Stimuli frei von anderen Faktoren untersucht werden. Auch die Frage nach dem Einfluss perzeptueller und konzeptueller Informationen konnte im Rahmen dieses Paradigmas aus einer neuen Perspektive untersucht werden. In Verhaltensstudien sowie in sonstigen bisher vorliegenden ERP-Studien im Bereich der frühkindlichen Kategorisierung wurde meist das Familiarisierung-Neuheitspräferenz-Paradigma verwendet (z.B. Behl-Chadha, 1996; Mandler

& McDonough, 1993, 1998; Pauen, 2002a, 2002b; Quinn & Johnson, 2000; Grossmann, Gliga, Johnson, & Mareschal, 2009; Quinn, Westerlund, & Nelson, 2006). Dabei lässt sich, wie bereits erwähnt, eine erhöhte Aufmerksamkeit für das Objekt der kontrastierenden Kategorie während der Testphase auf zwei unterschiedliche Aspekte von Verarbeitungsprozessen zurück führen (vgl. Mandler, 2004). Zum einen kann sie durch Prozesse der online Kategoriebildung entstehen. Dies würde bedeuten, dass die Kinder während der Familiarisierungsphase eine neue Kategorie bilden und auf die kontrastierende Kategorie im Test verstärkt reagieren, weil diese sich in perzeptueller Hinsicht deutlich von der bekannten Kategorie unterscheidet. Alternativ hierzu kann sie aber auch Prozesse der Wissensaktivierung widerspiegeln. Dann würden die Kinder bei der Verarbeitung der Objekte während der Familiarisierungsphase auf bereits bestehendes Kategoriewissen rekurren und die einzelnen Exemplare als zu einer bestimmten Kategorie zugehörig erkennen. Die Aufmerksamkeit für das Exemplar der kontrastierenden Kategorie würde in der Testphase zunehmen, weil dieses als zu einer andern Art zugehörig erkannt werden würde. Beide Prozesse könnten sich auch zu einem gewissen Grad überlappen. Somit lässt sich der Grund für erhöhte Blick- bzw. Examinationszeiten oder eine erhöhte Nc-Amplitude nicht eindeutig klären. Um die frühkindliche Kategorisierung besser verstehen zu können, erscheint es somit sinnvoll, eine Methode zu verwenden, die nicht auf dem Familiarisierung-Neuheitspräferenz Paradigma basiert. Ohne eine Familiarisierungsphase lässt sich die Wahrscheinlichkeit einer online Kategoriebildung verringern. In ihrer Studie wollten Jeschonek et al. deshalb untersuchen, ob sich die Hirnaktivität von Säuglingen in Abhängigkeit von der präsentierten Kategorie spontan unterscheidet. In der Studie wurden insgesamt 118 verschiedene Bilder von Objekten der beiden Kategorien ‚Tiere‘ und ‚Möbel‘ gleich häufig präsentiert, wobei keines der Bilder zweimal gezeigt wurde. Die Reaktionen der Kinder unterschieden sich tatsächlich systematisch hinsichtlich der Nc-Amplitude an den frontalen Elektroden in Abhängigkeit der gesehenen Kategorie: Eine Untergruppe von Kindern wies eine erhöhte Nc-Amplitude als Reaktion auf die Tierbilder auf, wohingegen eine weitere Untergruppe eine verstärkte Reaktion auf Möbelbilder zeigte. Entsprechende Untersuchungen bzw. Ergebnisse hinsichtlich der Unterschiede auf Untergruppen-Niveau wurden bis dato in der Literatur nicht berichtet. Zusätzlich wurde eine explorative Analyse auf Effekte kategorialen Primings durchgeführt. *Priming* bezieht sich auf eine Veränderung in der Geschwindigkeit, der Intensität oder der Genauigkeit, mit der ein Stimulus als Folge einer vorangehenden Erfahrung mit demselben oder einem ähnlichen Stimulus verarbeitet wird (Henson, 2003). Immer wenn identische oder semantisch verwandte Bilder in schneller Abfolge nacheinander

präsentiert werden (wie es bei EKP-Studien meist der Fall ist), ist die Möglichkeit von Priming gegeben. Da in dem vorliegenden Paradigma keines der gezeigten Bilder identisch war, handelte es sich nicht um Wiederholungspriming, sondern vielmehr um kategoriales Priming. Vergleichbare Auswertungen sind in der Säuglingsforschung bisher nicht bekannt. Während hinsichtlich der Nc kein Priming-Effekt zu beobachten war, brachte die explorative Analyse in einem späten Zeitfenster kategorieabhängige Unterschiede der Hirnaktivität zum Vorschein: Stimuli, die nach Exemplaren aus der kontrastierenden Kategorie präsentiert wurden, erzeugten eine stärkere PSW an rechten frontalen Elektroden im Vergleich zu Stimuli, die auf ein Exemplar derselben Kategorie folgten. Es scheint somit, dass Kinder zwar geprimten und nicht-geprimten Stimuli gleich viel Aufmerksamkeit schenkten - wie sich aus den fehlenden Unterschieden in der Nc-Amplitude ableiten lässt - diese aber in einer späteren Verarbeitungsphase unterschiedlich enkodierten. Da angenommen wird, dass die PSW eine Aktualisierung eines nur teilweise enkodierten Stimulus reflektiert (z.B. de Haan, & Nelson, 1997; Nelson & Collins, 1991), lassen die Daten darauf schließen, dass ein Stimulus, welches sich von dem direkt vorangehenden Exemplar bezüglich der Kategorie unterscheidet, bei der Enkodierung die neuronalen Ressourcen stärker beansprucht, als ein Stimulus, das auf ein Exemplar aus derselben Kategorie folgt. Wenn auch nicht im Kontext der Kategorisierung bzw. des semantischen Primings, so konnten ähnliche Datenmuster jedoch kürzlich bei 6 Monate alten Säuglingen beobachtet werden (Snyder, Garza, Zolot, & Kresse, 2010). Wurde in der Studie ein identischer Stimulus zweimal präsentiert, so zeigte sich als Reaktion auf die zweite Darbietung eine schwächer ausgeprägte PSW im Vergleich zur ersten Darbietung. Dies war jedoch nur der Fall, wenn der Stimulus direkt wiederholt wurde. Wurde ein anderes Bild dazwischen dargeboten, so gab es keinen Unterschied in der PSW. Die Autoren interpretieren dies als Hinweis dafür, dass die PSW auch sensitiv ist für Informationen darüber, ob ein identisches Objekt kürzlich gesehen wurde (*recency*). Unter diesem Aspekt, bieten die Ergebnisse der vorliegenden Studie (**Schrift III**) erste Hinweise darauf, dass die PSW möglicherweise auch semantische *recency*-Effekte reflektiert. Weitere Studien sind erforderlich, um diese Annahme genauer zu überprüfen. Dass die PSW als Reaktion auf nicht-identische aber semantisch ähnliche Objekte auftritt, lässt sich hierbei bereits aus den Daten von Grossmann und Kollegen ablesen, die in ihrem Untersuchungsparadigma eine stärker ausgeprägte PSW für neue Reize der bekannten Kategorie im Vergleich zu neuen Reizen der unbekanntem Kategorie im Test beobachten konnten (Grossmann, Gliga, Johnson, & Mareschal, 2009). Generell wurde die PSW in frühkindlichen EKP-Untersuchungen häufig mit Aspekten der visuellen Wiedererkennung - der sogenannten *recognition memory* - in

Verbindung gebracht (Nelson & Collins, 1991, 1992; Nelson & deRegnier, 1992). Dabei wurden in den Studien neben der Darbietungsfrequenz in erster Linie Informationen darüber, ob ein Stimulus vor der Untersuchung vertraut oder unvertraut war (*familiarity*), sowie darüber, ob ein bestimmtes Objekt zum ersten Mal gesehen wurde (*novelty*) variiert. Neben diesen beiden Komponenten zählt aber auch *recency* zu den Grundlagen von *recognition memory* (z.B. Fahy, Riches, & Brown, 1993; Xiang & Brown, 1998). Es scheint somit, dass die PSW im Zusammenhang mit der Verarbeitung dieser verschiedenen Komponenten auftritt.

Aus den Ergebnissen der Studie von Jeschonek et al. kann generell geschlossen werden, dass die Kinder zwischen den beiden globalen Kategorien diskriminierten. In Anbetracht der Präsentationsart sowie der großen Variabilität in der äußeren Erscheinung der Exemplare innerhalb jeder der beiden Kategorien, liegt es außerdem nahe, dass Prozesse der Kategorieidentifikation hierbei eher eine untergeordnete Rolle spielten, als Prozesse der online Kategoriebildung. Die vorliegenden Daten weisen zusätzlich darauf hin, dass hinsichtlich der beiden Kategorien interindividuelle Unterschiede in dem Ausmaß der spontanen Aufmerksamkeitszuwendung bestehen. Ein Befund, der anhand von Verhaltensbeobachtung bisher nicht festgestellt werden konnte. In methodischer Hinsicht hat diese Studie erfolgreich demonstriert, dass die Erprobung neuer Untersuchungsparadigmen im Bereich der frühkindlichen Kategorisierung sehr lohnenswert ist.

3.4. Fazit

Ingesamt dienen die Studien des vorliegenden Promotionsprojekts als weitere Belege dafür, dass Kinder bereits in ihrem ersten Lebensjahr in der Lage sind, die kategoriale Zugehörigkeit natürlicher Objekte zu erkennen und zu verarbeiten. Sowohl mittels Verhaltensbeobachtung als auch mit Hilfe psychophysiologischer Messungen lässt sich dabei insbesondere feststellen, dass Kinder zwischen einzeln präsentierten Objekten der globalen Kategorien ‚belebt‘ und ‚unbelebt‘ unterscheiden können, obwohl jedes dieser Objekte neue äußerlich wahrnehmbare Informationen bietet (vgl. Mandler, 2003; Pauen, 2002a; Eimas & Quinn, 1994). Psychophysiologische Maße erlauben hierbei eine objektive Messung von Aufmerksamkeitsprozessen in Kategorisierungsaufgaben und stellen eine wichtige Ergänzung zu behavioralen Daten dar.

So ist beispielsweise die durchschnittliche Herzrate über mehrere Durchgänge einer Objektexaminationsaufgabe hinweg systematisch mit der behavioral erfassten visuellen Aufmerksamkeit assoziiert (**Schrift I**). Die Parallelen die in den physiologisch und behavioral

erfassten Daten festzustellen sind, untermauern bisher gewonnene Erkenntnisse, während die Unterschiede in den beiden Ergebnismustern darauf hinweisen, dass physiologische Messverfahren eine bedeutende Ergänzung in der Erfassung der frühkindlichen Aufmerksamkeit im Bereich der Kategorisierung darstellen.

Die Messung ereigniskorrelierter Potentiale im Zusammenhang mit der Verarbeitung kategorialer Reize ermöglicht es, zusätzliche Informationen hinsichtlich der frühkindlichen Kategorisierung und den zugrunde liegenden kognitiven Prozessen zu gewinnen (**Schrift II und Schrift III**). So konnte aufgezeigt werden, dass sie die Unterscheidung von Lebewesen und unbelebten Objekten offensichtlich auch auf neurophysiologischer Ebene widerspiegelt. Unterschiede in den Hirnreaktionen weisen darauf hin, dass die Maße möglicherweise sogar inter-individuelle Variationen in der spontanen Aufmerksamkeitszuwendung auf kategoriale Reize aufzeigen können.

Insgesamt kann die Verwendung unterschiedlicher physiologischer und behavioraler Untersuchungsmethoden sowie die Entwicklung und Erprobung neuer Designansätze dabei helfen, ein umfassendes Bild der frühkindlichen Kategorisierung entstehen zu lassen. Im vorliegenden Projekt bestätigen und erweitern die neuen methodischen Ansätze im physiologischen Bereich die Befunde aus der Verhaltensforschung.

Literatur

- Ackles, P., & Cook, K. (1998). Stimulus probability and event-related potentials of the brain in 6-month-old human infants. A parametric study. *International Journal of Psychophysiology*, 29, 115-143.
- Ashby, F., & Maddox, W. (2005). Human category learning. *Annual Review of Psychology*, 56, 149-178.
- Batty, M. & Taylor, M. J. (2002). Visual categorization during childhood: An ERP-study. *Psychophysiology*, 39, 482-490.
- Behl-Chadha, G. (1996). Basic-level and superordinate-like categorical representations in early infancy. *Cognition*, 60, 105-141.
- Colombo, J., Richman, W. A., Shaddy, D. J., Greenhoot, A. F., & Maikranz, J. M. (2001). Heart rate-defined phases of attention, look duration, and infant performance in the paired-comparison paradigm. *Child Development*, 72, 1605-1616.
- Courchesne, E., Ganz, L., & Norcia, A. M. (1981). Event-related brain potentials to human faces in infants. *Child Development*, 52, 804-811.
- Damasio, H., Grabowski, T. J., Tranel, D., & Hichwa, R. D. (1996). A neural basis for lexical retrieval. *Nature*, 380, 499-505.
- de Haan, M. (2007). *Infant EEG and event-related potentials*. New York: Psychology Press.
- de Haan, M. & Nelson, C. A. (1997). Brain activity differentiates face and object processing in 6-month-old infants. *Developmental Psychology*, 35, 1113-1121.
- De Renzi, E., & Lucchelli, F. (1994). Are semantic systems separately represented in the brain? The case of living category impairment. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 57, 1366-1370.
- Eimas, P., & Quinn, P. (1994). Studies on the formation of perceptually based basic-level categories in young infants. *Child Development*, 65, 903-917.
- Ellis, A. E., & Nelson, C. A. (1999). Category prototypicality judgments in adults and children: Behavioral and electrophysiological correlates. *Developmental Neuropsychology*, 15, 193-211.
- Fahy, F. L., Riches, I. P., & Brown, M. W. (1993). Neuronal activity related to visual recognition memory: Long-term memory and the encoding of recency and familiarity information in the primate anterior and medial inferior rhinal cortex. *Experimental Brain Research*, 96, 457-472.

- Graham, F. K. (1979). Distinguishing among orienting, defense, and startle reflexes. In H. D. Kimmel, E. H. van Olst & J. F. Orlebeke (Eds.), *The orienting reflex in humans* (pp. 137-167). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Grossmann, T., Gliga, T., Johnson, M. H., & Mareschal, D. (2009). The Neural Basis of Perceptual Category Learning in Human Infants. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *21*, 2276-2286.
- Henson, R. N. A. (2003). Neuroimaging studies of priming. *Progress in Neurobiology*, *70*, 53-81.
- Hill-Karrer J., Karrer, R., Bloom, D., Chaney, L., & Davis, R. (1998). Event-related brain potentials during an extended visual recognition memory task depict delayed development of cerebral inhibitory processes among 6-month-old infants with Down syndrome. *International Journal of Psychophysiology*, *29*, 167-200.
- Karrer, R., & Monti, L. A. (1995). Event-related potentials of 4-7 week-old infants in a visual recognition memory task. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, *94*, 414-424.
- Kiefer, M. (2001). Perceptual and semantic sources of category-specific effects: Event-related potentials during picture and word categorization. *Memory & Cognition*, *29*, 100-116.
- Lansink, J. M., & Richards, J. E. (1997) Heart rate and behavioral measures of attention in six-, nine-, and twelve-month-old infants during object exploration. *Child Development*, *68*, 610-620.
- Lansink, J. M., Mintz, S., & Richards, J. E. (2000). The distribution of infant attention during object examination. *Developmental Science*, *3*, 163-170.
- Mandler, J. M. (2003). Conceptual categorization. In D. H. Rakison & L. M. Oakes (Eds.), *Early category and concept development: Making sense of the blooming, buzzing confusion* (pp. 103-131). New York: Oxford University Press.
- Mandler, J. M. (2004). *The foundations of mind: Origins of conceptual thought*. New York: Oxford University Press.
- Mandler, J. M., & McDonough, L. (1993). Concept formation in infancy. *Cognitive Development*, *8*, 291-317.
- Mandler, J. M., & McDonough, L. (1998). On developing a knowledge base in infancy. *Developmental Psychology*, *34*, 1274-1288.
- Mandler, J. M., Bauer, P. J., & McDonough, L. (1991). Separating the sheep from the goats: Differentiating global categories. *Cognitive Psychology*, *23*, 263-298.

- Morton, J. & Johnson, M. H. (1991). CONSPEC and CONLERN: A two-process theory of infant face recognition. *Psychological Review*, 98, 164-181.
- Nelson, C. A. (1994). Neural correlates of recognition memory in the first postnatal year of life. In G. Dawson & K. Fischer (Eds.), *Human behaviour and the developing brain* (269-313). New York: Guilford Press.
- Nelson, C. A., & Collins, P. F. (1991). Event-related potential and looking-time analysis of infants' responses to familiar and novel events: Implications for visual recognition memory. *Developmental Psychology*, 27, 50-58.
- Nelson, C. A., & Collins, P. F. (1992). Neural and behavioral correlates of recognition memory in 4- and 8-month-old infants. *Brain & Cognition*, 19, 105-121.
- Nelson, C. A. & deRegnier, R.-A. (1992). Neural correlates of attention and memory in the first year of life. *Developmental Neuropsychology*, 8, 119-134.
- Nelson, C. A., Wewerka, S., Thomas, K. M., deReigner, R., Tribbey-Walbridge, S., & Georgieff, M. (2000). Neurocognitive sequelae of infants of diabetic mothers. *Behavioural Neuroscience*, 114, 950-956.
- Oakes, L. M., Coppage, D. J., & Dingle, A. (1997). By land or by sea: The role of perceptual similarity in infants' categorization of animals. *Developmental Psychology*, 33, 396-407.
- Oakes, L. M., Madole, K. L., & Cohen L. B. (1991). Infants' object examining: Habituation and categorization. *Trends in Neuroscience*, 6, 384-392.
- Pauen, S. (2002a). Evidence for knowledge-based category discrimination in infancy. *Child Development*, 73, 1016-1033.
- Pauen, S. (2002b). The global-to-basic level shift in infants' categorization. First evidence from a longitudinal study. *International Journal of Behavioral Development*, 26, 492-499.
- Porges, S. W. (1972). Heart rate variability and deceleration as indexes of reaction time. *Journal of Experimental Psychology*, 92, 103-110.
- Porges, S. W., & Raskin, D. C. (1969). Respiratory and heart rate components of attention. *Journal of Experimental Psychology*, 81, 497-503.
- Quinn, P. C., Eimas, P. D., & Rosenkrantz, S. L. (1993). Evidence for representations of perceptually similar natural categories by 3-month-old and 4-month-old infants. *Perception*, 22, 463-475.
- Quinn, P., & Johnson, M. (2000). Global-before-basic object categorization in connectionist networks and 2-months-old infants. *Infancy*, 1, 31-46.

- Quinn, P. C., Westerlund, A., & Nelson, C. A. (2006). Neural markers of categorization in 6-month-old infants, *Psychological Science*, *17*, 59-66.
- Reynolds, G. D., & Richards, J. E. (2005). Familiarization, attention, and recognition memory in infancy: An event-related potential and cortical source localization study. *Developmental Psychology*, *41*, 598-615.
- Richards, J. E. (1987). Infant visual sustained attention and respiratory sinus arrhythmia. *Child Development*, *58*, 488-496.
- Richards, J. E. (2003). Attention affects the recognition of briefly presented visual stimuli in infants: An ERP study. *Developmental Science*, *6*, 312-328.
- Richards, J. E., & Casey, B. J. (1991). Heart rate variability during attention phases in young infants. *Psychophysiology*, *28*, 43-53.
- Richards J. E. & Casey, B. J. (1992). Development of sustained visual attention in the human infant. In B. A. Campbell, H. Hayne & R. Richardson (Eds.), *Attention and information processing in infants and adults* (pp. 30-60). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Rosch, E., Mervis, C. B., Gray, W., Johnson, D. M., & Boyes-Braem, P. (1976). Basic objects in natural categories. *Cognitive Psychology*, *8*, 382-439.
- Ross, G. S. (1980). Categorization in 1- to 2-year-olds. *Developmental Psychology*, *16*, 391-396.
- Ruff, H. A. (1984). Infants' manipulative exploration of objects: Effects of age and object characteristics. *Developmental Psychology*, *20*, 9-20.
- Ruff, H. A. (1986). Components of attention during infants' manipulative exploration. *Child Development*, *57*, 105-114.
- Sim, E. J. & Kiefer, M. (2005). Category-related brain activity to natural categories is associated with the retrieval of visual features: Evidence from repetition effects during visual and functional judgements. *Cognitive Brain Research*, *24*, 260-273.
- Snyder, K. A., Garza, J., Zolot, L., & Kresse, A. (2010). Electrophysiological Signals of Familiarity and Recency in the Infant Brain. *Infancy*. doi: 10.1111/j.1532-7078.2009.00021.x
- Spelke, E. S., Phillips A., & Woodward, A. L. (1995). Infants' knowledge of object motion and human action. In D. Sperber, D. Premack, & A. J. Premack (Eds.), *Causal Cognition: A multidisciplinary debate* (44-78). New York: Clarendon Press/Oxford University Press.

- Tanaka, J., Luu, P. Weisbrod, M., & Kiefer, M. (1999). Tracking the time course of object categorization using event-related potentials. *Neuroreport: For Rapid Communication of Neuroscience Research*, *10*, 829-835.
- Träuble, B. & Pauen, S. (2007). The role of functional information for infant categorization. *Cognition*, *105*, 362-379.
- Träuble, B. & Pauen S. (2009). Cause or effect - what matters? How 12-month-old infants learn to categorize artefacts. *British Journal of Developmental Psychology*. doi: 10.1348/026151009X479547
- Xiang, J.-Z., & Brown, M. W. (1998). Differential neuronal encoding of novelty, familiarity and recency in regions of the anterior temporal lobe. *Neuropharmacology*, *37*, 657-676.
- Younger, B. A., & Furrer, S. (2003). A comparison of visual familiarization and object-examining measures of categorization in 9-month-old infants. *Infancy*, *4*, 327-348.