

# **Okulomotorische und elektrophysiologische Effekte der Distraktordarbietung in freier Bildbetrachtung**

## **DISSERTATION**

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor rerum naturalium  
(Dr. rer. nat.)

vorgelegt der  
Fakultät Mathematik und Naturwissenschaften  
der Technischen Universität Dresden

von  
Dipl.-Psych. Sven-Thomas Graupner  
geboren am 06.07.1972 in Dresden

eingereicht am 14.07.2011

Die Dissertation wurde in der Zeit von Jan/2005 bis Juli/2011 am Institut für  
Arbeits-, Organisations- und Sozialpsychologie angefertigt

Gutachter: Prof. Boris M. Velichkovsky  
Prof. Alexander Strobel

verteidigt am 17.11.2011



# Danksagung

Bei der Anfertigung dieser Arbeit über die vergangenen Jahre wurde mir Hilfe und Unterstützung in vielerlei Hinsicht zuteil, für die ich mich an dieser Stelle bei allen Beteiligten auf das Herzlichste bedanken möchte.

Mein Dank gilt zunächst meinem Doktorvater Prof. Boris Velichkovsky für seine Unterstützung und Geduld sowie zahlreiche fachliche und inhaltliche Hinweise und Ratschläge.

Ich danke weiterhin meinen Kollegen und Freunden an der Professur für Angewandte Kognitionsforschung, insbesondere Dr. Sebastian Pannasch, Dr. Jens Helmert, für die fachliche, inhaltliche, administrative und motivationale Unterstützung, für viele Hinweise und Anmerkungen zu meiner Arbeit sowie für die allgemein freundschaftliche und kollegiale Zusammenarbeit während der gesamten Zeit.

Ich danke außerdem Prof. Alexander Strobel für die Bereitschaft der Begutachtung dieser Arbeit.

Des Weiteren möchte ich mich bedanken bei Thomas Fischer, für viele fachliche Hinweise und Diskussionen, bei Prof. Burckhard Brocke, für logistische Unterstützung (Überlassen von Räumlichkeiten und EEG-Verstärker), bei Gernod Pascher, für Hilfe in technischen Fragen, bei Johannes Marx und einer Reihe von Studenten (Tilo Wehner, Ariane Bürkner, Maria Brüstel, Susen Döbelt, Ulrike Schneider, Susan Möllendorf), die mich bei der Planung und Durchführung der Experimente personell unterstützt haben, und natürlich den vielen Teilnehmern der Studien, ohne deren Mitwirkung die Untersuchungen nicht hätten stattfinden können,

Mein ganz besonderer Dank aber gilt meiner Familie und meinen Freunden, für deren unschätzbare Hilfe und Unterstützung, für deren Aufmunterung, wenn's mal nicht so voranging und fürs einfach nur da sein.



---

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation .....	1
1.2 Grundlegendes zu Blickbewegungen .....	2
<b>2. Der Distraktoreffekt.....</b>	<b>6</b>
2.1 Stand der Forschung.....	6
2.2 Erklärungsansätze zum Distraktoreffekt .....	8
<b>3. Ziel der Arbeit .....</b>	<b>13</b>
<b>4. Allgemeine Methoden.....</b>	<b>15</b>
4.1 Das Paradigma der blickkontingenten Darbietung von Distraktoren.....	15
4.2 Aufbau und Geräte .....	17
4.3 Stichprobe.....	18
4.4 Allgemeine Angaben zur Datenanalyse .....	19
<b>5. Der Einfluss von Neuheit auf den Distraktoreffekt.....</b>	<b>20</b>
5.1 Theorie der Orientierungsreaktion .....	20
5.2 Habituation der Orientierungsreaktion.....	21
5.3 Habituation und ereigniskorrelierte Potentiale.....	23
5.4 Habituation des Distraktoreffekts: Studie 1 .....	26
5.4.1 Einführung.....	26
5.4.2 Methoden.....	28
5.4.3 Ergebnisse .....	31
5.4.4 Diskussion .....	42
5.5 Habituation bei akustischen und haptischen Distraktoren: Studie 2 .....	47
5.5.1 Einführung.....	47
5.5.2 Methoden.....	48
5.5.3 Ergebnisse .....	50
5.5.4 Diskussion .....	52
<b>6. Einfluss von Relevanz und Emotionen auf den Distraktoreffekt.....</b>	<b>56</b>
6.1 Stimulusrelevanz als Auslösebedingung der OR .....	56
6.2 Einfluss von aufgabenspezifischer Relevanz: Studie 3 .....	58
6.2.1 Einführung.....	58
6.2.2 Methoden.....	60
6.2.3 Ergebnisse .....	62
6.2.4 Diskussion .....	65

---

6.3	Emotionen – eine Form biologischer Relevanz .....	71
6.3.1	Emotionen und Orientierungsreaktion .....	71
6.3.2	Definition und Konzepte von Emotionen.....	72
6.3.3	Verarbeitung von Emotionen im Gehirn .....	75
6.3.4	Studien zum Einfluss von Emotionen auf Aufmerksamkeit und Blickbewegungen .....	78
6.4	Einfluss des emotionalen Gehalts von Distraktoren: Studie 4 .....	82
6.4.1	Einführung.....	82
6.4.2	Methoden.....	84
6.4.3	Ergebnisse .....	86
6.4.4	Diskussion .....	87
6.5	Einfluss emotionaler Bilderinhalte auf neutrale Distraktoren: Studie 5.....	92
6.5.1	Einführung.....	92
6.5.2	Methoden.....	94
6.5.3	Ergebnisse .....	96
6.5.4	Diskussion .....	98
<b>7.</b>	<b>Einfluss der Informationsverarbeitung auf den Distraktoreffekt: Studie 6.....</b>	<b>101</b>
7.1	Einführung.....	101
7.2	Methoden.....	104
7.3	Ergebnisse .....	106
7.4	Diskussion .....	114
<b>8.</b>	<b>Zusammenfassung der Ergebnisse und abschließende Diskussion .....</b>	<b>119</b>
8.1	Distraktoreffekt und die Rolle von Neuheit .....	119
8.2	Distraktoreffekt und die Rolle von Relevanz .....	122
8.3	Distraktoreffekt als Orientierungsreaktion? .....	124
8.4	Distraktoreffekt und der Einfluss von Informationsverarbeitungsprozessen .....	127
8.5	Ausblick.....	130
<b>9.</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>133</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispielbild für die freie Bildbetrachtungsaufgabe.....	16
Abbildung 2: Differenzwerte der Fixationsdauer beider Distraktormodalitäten für die langsame Habituation, die schnelle Habituation und den Effekte des abweichenden Distraktor. ....	32
Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung der Fixationsdauer nach Distraktor-onset in Abhängigkeit der Distraktormodalität für langsame Habituation, schnelle Habituation und den abweichenden Distraktor.....	34
Abbildung 4: Relativer Anteil beendeter Fixationen für die Intervalle vor (68-116 ms) und nach (117-212 ms) der charakteristischen Eindellung in der Häufigkeitsverteilung.....	36
Abbildung 5: Gemittelte EKPs (N=43) des visuellen Distraktors für langsame und schnelle Habituation und den abweichenden Distraktor .....	37
Abbildung 6: Gemittelte EKPs (N=41) des auditiven Distraktors für langsame und schnelle Habituation und den abweichenden Distraktor .....	38
Abbildung 7: Gemitteltes EKP der Elektrodenposition für welches die früheste signifikante Abweichung gefunden wurde.....	40
Abbildung 8: Vereinfachtes Model hemmender Mechanismen als Grundlage des visuellen Distraktoreffekts.....	44
Abbildung 9: Darstellung des haptischen Stimulationsgeräts.....	48
Abbildung 10: Differenzwerte der Fixationsdauer für Distraktoren beider Modalitäten als Funktion der Distraktorabfolge innerhalb des Bildes.....	50
Abbildung 11: Häufigkeitsverteilung der Fixationsdauer für Baseline, Distraktor 1 und Distraktor 2-4 für die akustische und haptische Modalität.....	51
Abbildung 12: Differenzwerte der Fixationsdauer für visuelle und auditive Distraktoren als Funktion von Distraktorart und Relevanz.....	63
Abbildung 13: Häufigkeitsverteilungen der Fixationsdauer als Funktion von Distraktorart und Relevanz.....	65
Abbildung 14: Differenzwerte der Fixationsdauer für langsame und schnelle Habituation sowie in Abhängigkeit vom emotionalen Inhalt des Distraktors.....	86
Abbildung 15: Differenzwerte der Fixationsdauer für langsame und schnelle Habituation sowie die Interaktionseffekt von Valenz und Arousal der zu betrachteten Bilder auf den Distraktoreffekt .....	98
Abbildung 16: Häufigkeitsverteilungen der Fixationsdauer für Baseline- und Distraktorfixationen für alle vier sakkadischen Kontextbedingungen.....	108
Abbildung 17: Gemittelte EKPs der Baseline- und Distraktorfixationen sowie für das Differenzpotential (Distraktor – Baseline).....	110
Abbildung 18: Mittlere EKP-Aktivierung für das N1 und P2 Zeitfenster als Funktion des Einflusses der vorhergehenden und nachfolgenden Sakkade für Baseline, Distraktor und Differenz EKP.....	111
Abbildung 19: Topografie der Aktivität im P2 Zeitfenster des Differenz-EKPs der sakkadischen Kontextbedingungen VK-NK und für VL-NL.....	112

---

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Mittelwert und Standardabweichung der Fixationsdauer (in ms) der Distraktorfixation sowie der beiden vorhergehenden und nachfolgenden Fixationen für beide Modalitäten. ....	31
Tabelle 2: Mittlere Fixationsdauer für Baseline und Distraktorfixationen in Abhängigkeit von der Amplitude der vorherigen und nachfolgenden Sakkade. ....	107
Tabelle 3: Korrelationen der Effekte der Fixationsdauererlängerung mit denen der distraktorbezogenen EKP-Aktivität .....	114



# 1. Einleitung

## 1.1 Motivation

Plötzliche Veränderungen in der Umwelt sind für viele Lebewesen dieses Planeten eine Klasse biologisch hoch relevanter Signale und ihre Erkennung innerhalb der sensorischen Umwelt stellt eine kritische Funktion fürs Überleben dar (Downar, Crawley, Mikulis & Davis, 2000). Im Laufe der Evolution haben sich daher robuste Mechanismen entwickelt, die eine zuverlässige Entdeckung solche Signale sowie eine schnelle, effiziente und angemessene Reaktion darauf ermöglichen. Beim Menschen ist die dominante Wahrnehmungsdimension das Sehen. Plötzlich auftretende Veränderungen im visuellen Feld führen zu einer Unterbrechung des aktuellen Verhaltens und einer unwillkürlichen Zuwendung von Aufmerksamkeit. Diese Orientierungsreaktion kann als eins der grundlegenden Prinzipien für die Funktionsweise unserer Wahrnehmung und Kognitionen betrachtet werden. Die Analyse der beteiligten funktionellen und neurophysiologischen Mechanismen sowie deren Zusammenhang zu Aufmerksamkeitsprozessen, Informationsverarbeitung und Verhaltenssteuerung ist daher seit langem ein wichtiges Thema psychologischer Forschung. Dabei zählen Pavlovs (1927) berühmte Studien zum klassischen Konditionieren bei Hunden, in denen diese damals als „Was ist das“ Reflex bezeichnete Reaktion zum ersten Mal systematisch analysiert wurden, mit Sicherheit zu einer der wichtigsten Pionierarbeiten auf diesem Gebiet. Während frühere Arbeiten sich zunächst mit dem Einfluss auf Verhalten (Reaktionszeiten) und psychophysiologische Parameter (wie Herzrate, Blutfluss und Hautleitwiderstand) beschäftigten, ermöglichen moderne bildgebende und neurophysiologische Verfahren es heute, einen genaueren Blick auf die beteiligten Gehirnmechanismen zu werfen.

Aus inhaltlicher und funktioneller Sicht lassen sich plötzliche Veränderungen dahingehend unterteilen, ob sie antizipierbare oder relevante Informationen für die Durchführung einer aktuellen Aufgabe oder Bewertung einer Situation enthalten. Insbesondere irrelevante und nicht antizipierbare Veränderungen gehen mit einer ungewollten Störung und Verzögerung des aktuellen Verhaltens und der Verarbeitungsprozesse einher. Solche ablenkenden Informationen werden im Kontext psychologische Forschung häufig als Distraktoren bezeichnet.

Die Wirkung plötzlicher Veränderungen lässt sich auch in Blickbewegungsmustern wiederfinden. Im Zuge dieser Arbeit soll der Einfluss von Distraktoren auf das Blickverhalten untersucht werden. Bereits frühere Studien konnten mehrfach eine Verlängerung der sakkadischen Reaktionszeit und der Fixationsdauer als Reaktion auf die Darbietung von Distraktoren nachweisen (Lévy-Schoen, 1969; Reingold & Stampe, 1999; Walker, Deubel, Schneider & Findlay, 1997). Dieses Phänomen der Beeinflussung des okulomotorischen Verhaltens wurde daher auch als *Distraktoreffekt* bezeichnet (Pannasch, 2003; Pannasch, Dornhoefer, Unema & Velichkovsky, 2001). Im vorliegenden Forschungsansatz wird zu dessen Untersuchung auf

ein experimentelles Paradigma zurückgegriffen, welches die Analyse von Distraktoren in einer natürlichen Wahrnehmungsaufgabe (freie Bildbetrachtung) ermöglicht (Pannasch, et al., 2001). Die hier dargestellten Untersuchungen sollen dazu beitragen, zu klären, welche Mechanismen an der Verarbeitung von Distraktoren und der Modulation des Effekts im Blickverhalten beteiligt sind. Dabei sollen zum einen der Einfluss von Neuheit und Bedeutung eines Distraktors und zum anderen die Abhängigkeit des Effekts von Prozessen der aktuellen Informationsverarbeitung innerhalb einer Fixation betrachtet werden. Anhand der Befunde werden neue Erkenntnisse über die Validität aktueller Modellvorstellung zur funktionellen Bedeutung des Distraktoreffekts und des Zusammenhangs von Blicksteuerung und Informationsverarbeitungsprozessen erwartet. Für das allgemeine Verständnis der dargestellten Arbeit sind zunächst einige grundlegende Informationen bezüglich des primären Untersuchungsgegenstands – der Blickbewegungen – notwendig.

## 1.2 Grundlegendes zu Blickbewegungen

Menschliches Blickverhalten ist durch einen stetigen Wechsel aus Phasen des relativen Stillstands des Augapfels, sogenannter *Fixationen*, und kurzzeitiger Bewegungen, die als *Sakkaden* bezeichnet werden, gekennzeichnet. Detailliertes, scharfes und farbiges Sehen ist aufgrund des anatomischen Aufbaus des Auges und der Verteilung der Photorezeptoren auf der Netzhaut nur in einem kleinen Bereich der Retina – der Fovea Centralis – möglich. Dieser Ausschnitt entspricht in etwa einer räumlichen Ausdehnung von 2° Sehwinkel. Mit größerem werdendem Abstand von der Fovea können Objektdetails daher nur noch eingeschränkt wahrgenommen werden, wobei sich aufgrund funktioneller und anatomischer Merkmale eine Einteilung in den fovealen (bis 2°), parafovealen (4-5°) und peripheren Sehbereich (ab 5°) durchgesetzt hat (Balota, Pollatsek & Rayner, 1985; Findlay & Gilchrist, 2003; Wysecki & Stiles, 1982). Um folglich auch Objekte, die außerhalb des fovealen Bereiches liegen, detailliert verarbeiten zu können, muss das Auge anhand schneller, sprunghafter Bewegungen – der Sakkaden – von einem Ort zum nächsten ausgerichtet werden.

Bei natürlichen visuellen Aufgaben, wie dem Betrachten einer Szene, geschieht dies etwa dreimal pro Sekunde. Sakkaden gehören mit Geschwindigkeiten von bis zu 1000 °/s zu den schnellsten Bewegungen des menschlichen Körpers. Die Ausführung einer Sakkade kann zwar willentlich kontrolliert werden, im Alltag verläuft deren Steuerung jedoch zumeist unbewusst und unwillkürlich. Der Transfer von Informationen von der Retina zu den kortikalen Regionen des visuellen Systems ist während einer Sakkade stark reduziert; ein Phänomen, das als sakkadische Suppression bezeichnet wird (Matin, 1974; Vallines & Greenlee, 2006). Dieser Mechanismus trägt wesentlich zur subjektiven Stabilität unserer Wahrnehmung bei, indem die durch eine Sakkade verursachten großflächigen Verschiebungen des retinalen Abbilds ausgeblendet werden. Die Aufnahme visueller Informationen aus der Umwelt kann daher primär als Funktion der Fixation angesehen

werden. Neben Fixation und Sakkaden lassen sich weitere funktionelle Blickmuster unterscheiden. Hierzu zählen die Mikrobewegungen des Auges innerhalb einer Fixation sowie speziell auf die Wahrnehmung in dynamischen Umgebungen angepasste Blickbewegungsmuster wie glatte Folgebewegungen und Nystagmen. Diese stehen jedoch nicht im Fokus der vorliegenden Arbeit, weshalb für genauere Informationen auf relevante Überblicksarbeiten verwiesen sei (Findlay & Gilchrist, 2003; Joos, Rötting & Velichkovsky, 2002).

Die Dauer der Fixation wird als ein wichtiger Parameter für die quantitative und qualitative Bewertung von Informationsverarbeitungsprozessen betrachtet. Wie sich in verschiedenen Arbeiten zeigte, ist die Verarbeitung allerdings nicht ausschließlich auf die Zeitdauer der Fixation beschränkt (Irwin, Carlson & Andrews, 1995; Irwin & Gordon, 1998). Beim natürlichen Sehen lässt sich in der Regel eine erhebliche Variation der Dauer einzelner Fixationen feststellen (zwischen 100-2000 ms), wobei die Mehrzahl in einem Bereich von 200-600 ms zu finden sind (Findlay & Gilchrist, 2003). Darüber hinaus haben Studien deutliche Unterschiede der mittleren Fixationsdauer für verschiedene visuelle Wahrnehmungsaufgaben nachgewiesen; so beträgt sie beim stillen Lesen zwischen 225-250 ms und bei Betrachtung einer Szene zwischen 260-330 ms (vgl. Findlay & Gilchrist, 2003; Rayner, 2009). Dies wurde u.a. mit der unterschiedlichen Größe der visuellen Spanne, und damit der Menge zu verarbeitender Information, in Zusammenhang gebracht, wobei beim Lesen von einer kleineren Spanne als bei visueller Suche oder der Betrachtung einer Szene ausgegangen wird (Nelson & Loftus, 1980; Rayner, 2009). Neben der Informationsmenge sind auch höhere Komplexität und Schwierigkeit des visuellen Stimulusmaterials sowie größere kognitive Anforderungen einer Aufgabe mit einem Anstieg der Fixationsdauer assoziiert. Weiterhin wird ein Zusammenhang zwischen Verarbeitungstiefe – im Sinne des *levels of processing* Ansatz ( Craik & Lockhart, 1972) – und Fixationsdauer angenommen (Velichkovsky, Sprenger & Unema, 1997).

Viele experimentelle Paradigmen zur Erforschung von Blickbewegungen (insbesondere im Zusammenhang mit Aufmerksamkeit) erfordern das Ausführen einer Sakkade von einem vordefinierten Fixationsort zu einem plötzlich auftauchenden Zielreiz. Die sakkadische Latenz (bzw. sakkadische Reaktionszeit – SRT) beschreibt hierbei, analog zur manuellen Reaktionszeit, wie schnell das Auge nach Auftreten des Ziels bewegt werden kann und ermöglicht damit eine Aussage hinsichtlich der Geschwindigkeit mit der Informationen verarbeitet und eine neue Sakkade programmiert werden kann (Becker & Jürgens, 1979).

Der wesentliche Maß um die Bewegung des Auges zu beschreiben ist die Sakkadenamplitude, d.h. die Länge eines Blicksprungs. Ähnlich wie die Fixationsdauer ist auch dieser Parameter deutlichen Schwankungen unterworfen und variiert in Abhängigkeit vom jeweiligen visuellen Aufgabekontext und dem Stimulusmaterial. So ist sie beim Lesen in der Regel kürzer als bei der Szenenbetrachtung, wobei Faktoren wie Buchstabengröße, räumliche Verteilung von Objekten in einer Szenen und räumlich Ausdehnung des zu betrachtenden Materials einen

moderierenden Einfluss haben (Rayner, 2009). Beim natürlichen Sehen haben Sakkaden in der Regel Amplituden zwischen 2-50° (Unema, 1995) wobei etwa 95-99 Prozent unterhalb von 15° liegen (Bahill, Adler & Stark, 1975). Die Sakkadendauer, d.h. die Zeitdauer der Bewegung, variiert als Funktion der Amplitude und beträgt z.B. bei 2° etwa 30 ms und bei 5° etwa 40-50 ms (Rayner, 2009).

Neben der Dauer der Fixation spielt auch der Ort und somit der Inhalt der aufgenommenen Information für die Bewertung von Verarbeitungsprozessen und der Mechanismen zur Kontrolle von Blickbewegung eine wichtige Rolle. Während fürs Lesen bereits detaillierte und relativ präzise Modelle zur Vorhersage von Ort, Dauer und Abfolge von Fixationen bzw. Sakkaden existieren (vgl. Engbert, Nuthmann, Richter & Kliegl, 2005; Reichle, Rayner & Pollatsek, 2003), lieferten vergleichbare Ansätze für das Betrachten von Szenen trotz erheblicher Forschungsbemühungen bisher keine zufriedenstellenden Ergebnisse (Tatler & Vincent, 2008). Dies lässt sich u.a. damit begründen, dass beim Lesen die räumlichen Positionen des Blicks durch die Struktur des Textes und die Leserichtung im Wesentlichen vorgegeben sind. Bei freier Bildbetrachtung gibt es diesbezüglich keine konkreten Annahmen; die Parameter Position und Abfolge der Fixationen sind also Teil der Vorhersage. Die Basis der dafür verwendeten mathematischen Modelle sind dabei in der Regel die physikalisch salienten Merkmale einer Szene, wie Kontrast, Helligkeit, Farben oder räumlicher Frequenz (z.B. Itti & Koch, 2000; Parkhurst, Law & Niebur, 2002; Tatler, Baddeley & Gilchrist, 2005). Obwohl diese Modelle einigermaßen präzise Vorhersagen bezüglich der Position des Blicks treffen können, sind sie limitiert, was Aussagen zur Abfolge von Blickpositionen und der Dauer von Fixationen betrifft. Wie bereits von den Pionieren der modernen Blickbewegungsforschung gezeigt wurde (Buswell, 1935; Yarbus, 1967) führen höhere kognitive Funktionen und *top-down*-Prozesse, wie sie z.B. durch Aufgabenunterschiede bei unterschiedlichen Instruktionen zustande kommen, zu einer sehr ausgeprägten Variation im Blickverhalten. Der Einfluss dieser Faktoren ist in den vergangenen Jahren verstärkt in den Fokus der Forschung gerückt, um zu einem besseren Verständnis und genaueren Vorhersagen des Blickverhaltens in natürlichen Szenen zu kommen (Castelhano & Henderson, 2007; Einhauser, Rutishauser & Koch, 2008; Torralba, Oliva, Castelhano & Henderson, 2006).

Generell hat die Methode der Blickbewegungsmessung in den vergangenen Jahren immer mehr an Bedeutung für die Erforschung visueller Wahrnehmung, Kognitionen und Aufmerksamkeit gewonnen. Zum Teil ist dies auf erhebliche Verbesserung und Vereinfachung der Systeme und Methoden zur Aufzeichnung von Blickbewegungen zurückzuführen. Während frühere Systeme komplizierte Apparaturen und aufwendige Auswertungsverfahren erforderten und mit einem nicht unerheblichen Maß an Belastung und Unannehmlichkeit für den Probanden verbunden waren (Buswell, 1935; Wade & Tatler, 2005; Yarbus, 1967), lassen sich mit heutigen Geräten präzise Messungen selbst in natürlichen Situationen und bei komplexen Tätigkeiten wie Autofahren oder Ballsportarten durchführen (Land & Tatler,

---

2009) und ermöglichen damit Untersuchungen der Funktionsprinzipien visueller Informationsverarbeitung in ökologisch validen Settings.

Trotz dieser Fortschritte wird in den meisten wissenschaftlichen Arbeiten mit wahrnehmungs- und aufmerksamkeitsbezogenen Hintergrund weiterhin auf die Verwendung relativ restriktiver experimenteller Paradigmen zurückgegriffen. Sicher sind Kontrolle und Reduktion wichtige Eckpunkte methodischen Vorgehens. Gerade im Bereich der visuellen Wahrnehmung führt dies jedoch zur paradoxen Situation, dass deren Funktion im Kontext reizarmer und statischer visueller Umgebungen untersucht wird. Dies widerspricht jedoch grundsätzlich der Situation, für die sich die Fähigkeiten und Funktionen des visuellen Systems entwickelt haben, nämlich der Notwendigkeit in einer komplexen und dynamischen Umwelt wichtige Informationen herauszufiltern und darauf reagieren zu können. Der Ansatz des „aktiven Sehens“ beschreibt eine solche dynamische Sichtweise auf visuelle Wahrnehmung und betont, dass ein regelmäßiges Erfassen unserer Umwelt durch Blickbewegungen den normalen Prozess visueller Aufmerksamkeit und Informationsverarbeitung darstellt (Findlay & Gilchrist, 2003). Aus dieser Perspektive sind Untersuchungsmethoden, welche die natürliche Bewegung des Auges einschränken, nur bedingt geeignet, ökologisch valide Erkenntnisse über die Funktionsweise des visuellen Systems und der zugrunde liegenden Mechanismen zu generieren. Diese Sichtweise aufgreifend, wurde in der aktuellen Arbeit der von McConkie und Rayner (1975) entwickelte Ansatz blickkontingenter Informationsdarbietung genutzt. Dieser ermöglicht die Untersuchung des Einfluss von Distraktoren auf das Blickverhalten in einer freien Bildbetrachtungsaufgabe und damit die Erforschung der beteiligten Mechanismen im Kontext einer natürlichen und kontinuierlichen Wahrnehmungsaufgabe.

## 2. Der Distraktoreffekt

### 2.1 Stand der Forschung

Einer der ersten empirischen Befunde zum Einfluss aufgabenirrelevanter Reize auf das Blickverhalten stammt von Ariane Levy-Schön (1969). In ihrer Studie hatten Probanden die Aufgabe einen Punkt zu fixieren, um bei Erscheinen eines Zielreizes so schnell wie möglich eine Sakkade zu diesem zu machen. Wurde gleichzeitig ein zweiter aufgabenirrelevanter Reiz (Distraktor), im relativ zum Zielreiz gegenüberliegenden visuellen Feld, dargeboten, verlängerte sich die SRT (d.h. die Zeit bis zum Ausführen der Sakkade zum Ziel) um etwa 40 ms. Nachfolgende Studien anderer Autoren ergaben, dass sich die Darbietung von Distraktoren auch auf räumliche Aspekte der Sakkadengenerierung auswirkt (Deubel, Wolf & Hauske, 1984; Findlay, 1982). Wurde ein aufgabenirrelevanter Reiz in unmittelbarer Nähe des Zielreizes präsentiert, kam es zu einer Beeinflussung der Sakkadenamplitude. Lagen Ziel und Distraktorreiz auf einer Achse und in der gleichen Richtung, landete die Sakkade in einem Bereich zwischen den beiden Stimuli, unabhängig davon, welcher der beiden Reize das Ziel war. Die SRT war jedoch nicht beeinflusst. Darüber hinaus spielte auch die Größe der Reize eine Rolle, denn die Amplitude war zum jeweils größeren der beiden Stimuli verschoben. Dieser globale Einfluss der Reizkonfiguration auf die räumlichen Parameter der Sakkadengenerierung wurde als *global effect* bezeichnet (Findlay, 1982). Weitere Untersuchungen zeigten, dass SRT und Sakkadenamplitude in reziproker Weise durch räumlich Parameter der Distraktordarbietung moduliert werden (Walker, et al., 1997). So wurde die Sakkadenamplitude nur dann durch den Distraktor beeinflusst, wenn dieser in einem engen räumlichen Korridor entlang der Zielreizachse ( $\pm 20^\circ$ ) erschien; die SRT jedoch war nicht betroffen. Außerhalb dieses Bereichs ist die Wirkung auf beide Parameter genau umgekehrt, d.h. eine Verlängerung der SRT aber keine Wirkung auf die Amplitude. In Abgrenzung zum *global effect* wurde der Effekt entfernter Distraktoren auf die SRT als *remote distractor effect* bezeichnet.

Die Stärke des Effekts auf die SRT bei Distraktordarbietung ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Ein relativ konsistenter Befund ist, dass am Fixationsort dargebotene Distraktoren zu einer größeren SRT führen als periphere Distraktoren (Pannasch & Velichkovsky, 2009; Walker, et al., 1997). Darüber hinaus spielen die Größe von Distraktoren (Weber & Fischer, 1994), sowie andere physikalische Merkmale, wie deren Kontrastverhältnis, Farbe und räumliche Frequenz im Vergleich zum Hintergrund (Born & Kerzel, 2008; Irwin, Colcombe, Kramer & Hahn, 2000; Ludwig, Gilchrist & McSorley, 2005; Stampe & Reingold, 2002; Sumner, Nachev, Castor-Perry, Isenman & Kennard, 2006; White, Gegenfurtner & Kerzel, 2005) eine Rolle.

---

Ein weiterer wesentlicher Einfluss entsteht durch die zeitliche Abfolge von Distraktor und Zielreiz. Erfolgt die Darbietung des Distraktors zeitlich (ca. 100-200 ms) vor dem Zielreiz, so kann man ähnlich wie beim sogenannten *Gap*-Effekt (Saslow, 1967) eine Verkürzung der SRT im Vergleich zu einer Kontrollbedingung ohne Distraktor beobachten (Ross & Ross, 1980; Walker, Kentridge & Findlay, 1995). Der Distraktor erleichtert in diesem Fall die sakkadische Reaktion, weil er, wie vermutet wurde, als Warnhinweis für den zu erwartenden Zielreiz wirkt (Ross & Ross, 1980; Ross & Ross, 1981). Erst die Darbietung unmittelbar vor, mit oder nach (0-150 ms) dem Zielreiz führt zu einer reproduzierbaren Verlängerung der SRT (Bompas & Sumner, 2009; Buonocore & McIntosh, 2008; Reingold & Stampe, 2002).

Weitere Studien zu diesem Phänomen untersuchten u.a. den Einfluss von Distraktoren auf die Generierung von Expresssakkaden, d.h. Sakkaden mit sehr kurzer Latenz <180 ms, (Weber & Fischer, 1994) und auf andere räumliche Parameter der Sakkaden, wie deren Ausrichtung hin zum Zielreiz und die Abweichung in deren Trajektorien (Doyle & Walker, 2001; McPeck & Keller, 2001; McPeck, Skavenski & Nakayama, 2000; McSorley, Haggard & Walker, 2004; Van der Stigchel & Theeuwes, 2005).

In der Mehrzahl der hier genannten Studien zum Einfluss von Distraktoren auf die Bewegung des Auges wurden relative künstliche experimentelle Paradigmen verwendet, die jedoch nur bedingt das natürliche Blickverhalten eines Menschen im Alltag abbilden. Die Probanden hatten dabei die Aufgabe, zunächst auf einen mehr oder weniger arbiträren – meist durch Fixationskreuz – gekennzeichneten Punkt zu blicken, um bei Erscheinen eines Zielreizes, eine – aus Sicht der Funktion der Wahrnehmung – sinnfreie Sakkade zu diesem auszuführen. Außer der Lokalisation des Zielreizes mussten also weder am Ausgangspunkt noch am Endpunkt der Sakkade bedeutungsvolle Informationen verarbeitet werden. Eine Möglichkeit die inhaltlichen Einschränkungen solcher „Fixieren-Springen-Experimente“ zu umgehen, ergab sich mit der Entwicklung von Methoden zur blickkontingenten Darstellung von Displayänderungen (McConkie & Rayner, 1975). Das wesentliche Merkmal dieses Paradigmas besteht darin, die Blickmuster eines Probanden während komplexer visueller Aufgaben online zu analysieren, wobei die Information über räumliche (z.B. wo befindet sich das Auge) und/oder zeitliche (wann wurde eine Fixation oder Sakkade begonnen) Aspekte der Bewegung des Auges genutzt werden, um in Abhängigkeit davon bestimmte Änderungen am Displayinhalt vorzunehmen. Diese Methode ermöglichte die Untersuchung von Blickbewegungen in natürlichen Aufgaben, wie beim Lesen, und garantierte gleichzeitig ein hohes Maß an experimenteller Kontrolle.

Paradigmen mit blickkontingenter Stimulusmanipulation wurden auch für die Untersuchung des Distraktoreffekts herangezogen, so z.B. beim Lesen (Reingold & Stampe, 2004), bei visueller Suche (Reingold & Stampe, 1999, 2000) und bei freier Bildbetrachtung (Pannasch, et al., 2001; Pannasch & Velichkovsky, 2009). Übereinstimmend zeigte sich eine Verlängerung der SRT für die unterschiedlichen Aufgaben sowie für verschiedene Arten

blickkontingenter Veränderungen, wie z.B. bei vertikaler Verschiebung des Textes beim Lesen, kurzzeitige Ausblendungen oder Verzerrungen des Bildinhalts bei visueller Suche oder kreisförmige farbige Distraktoren am Fixationsort bei freier Bildbetrachtung. Wie Pannasch et al. (2001) ausführen, kann im Kontext natürlicher Blickbewegungen gleichbedeutend auch von einer Verlängerung der Fixationsdauer gesprochen werden. Weiterhin zeigte sich, dass die Verlängerung der Fixationsdauer auf eine Unterdrückung neuer Sakkaden in einem begrenzten Zeitfenster nach dem Onset (Erscheinen) des Distraktors zurückführbar war. Während vom Distraktor unbeeinflusste Fixationen in der Regel eingipflige rechtsschiefe Häufigkeitsverteilungen aufwiesen, waren die Verteilungen der Distraktorfixationen durch eine deutliche Eindellung (engl. *dip*) gekennzeichnet. Dieser *dip* war bereits  $\sim 70$  ms nach Distraktor-Onset feststellbar und erreichte sein Maximum nach  $\sim 100$  ms (vgl. Reingold & Stampe, 1999, 2000). Weitere Studien zeigten, dass dieses Muster unabhängig davon war, wann die Darbietung des Distraktors innerhalb einer Fixation erfolgte; Effekte wurden sowohl für sehr kurze Latenzen (Reingold & Stampe, 2004) als auch für sehr lange Latenzen (Pannasch, 2003) berichtet. Im Folgenden sollen einige Ansätze dargestellt werden, mittels derer versucht wurde, die funktionelle Natur und die beteiligten neurophysiologischen Prozesse des Effekts näher zu bestimmen und zu erklären.

## 2.2 Erklärungsansätze zum Distraktoreffekt

Einer der ersten Überlegungen hierzu stammte von McConkie, Reddix und Zola (1992). Die Autoren beschäftigten sich vor allem mit der Wirkung von Textmaskierung beim Lesen. Sie vermuteten, dass die Verarbeitung visueller Information während einer Fixation durch zwei Stufen gekennzeichnet ist. Die erste Stufe besteht demnach aus einer Sequenz von Schritten zur Informationsenkodierung und -registrierung und findet in einem definierten Zeitfenster nach Fixationsbeginn statt. Die zweite Stufe, welche die eigentliche Nutzung und Verarbeitung dieser Informationen durch höhere kognitive Mechanismen beschreibt, kann zu unterschiedlichen Zeitpunkten, jedoch erst nach dem ersten Prozess einsetzen. Wird nun der visuelle Input während des ersten Prozesses kurz durch einen Distraktor maskiert, kommt es zu einer Unterbrechung der Informationsregistrierung. Diese muss daraufhin neu gestartet werden, wodurch sich die Fixation verlängert. Diese Annahmen wurden jedoch durch die Ergebnisse verschiedener Studien widerlegt (Pannasch, 2003; Reingold & Stampe, 2004). In diesen zeigte sich, dass die Darbietung eines Distraktorreizes zu fast jedem beliebigen Zeitpunkt innerhalb einer Fixation mit einer reflexhaften Unterdrückung von Sakkaden einhergeht, die als Eindellung in der Fixationsverteilung sichtbar wird. Demnach, so argumentierte Pannasch (2003), stellt die Hypothese der Verarbeitungsunterbrechung kein geeignetes Modell zur Beschreibung der distraktorinduzierten Verlängerung der Fixationsdauer dar.



---

Ein weiterer Ansatz, die funktionellen Prinzipien des Distraktoreffekts zu beschreiben, stammt von Findlay und Walker (1999). Sie versuchten die Befunde zum *remote distractor effect* und zum *global effect* im Rahmen des von ihnen entwickelten allgemeinen Modells zur Kontrolle von Blickbewegung zu integrieren. Den Autoren zufolge wird die Koordination des Blickverhaltens durch zwei sich gegenseitig hemmende, parallele Mechanismen oder Pfade zur Verarbeitung visueller Information gesteuert. Einer der beiden Mechanismen bestimmt „Wohin“ und der andere „Wann“ eine Blickbewegung ausgeführt wird. Darüber hinaus werden für die beiden Mechanismen fünf verschiedene Verarbeitungslevels postuliert. Auf der niedrigsten Stufe (Level 1) befindet sich die motorische Kommandoebene. In Abhängigkeit von den Verarbeitungsprozessen in höheren Levels wird im Wann-Pfad über eine Art Schalter bestimmt, zu welchem Zeitpunkt die Aktivität im Wohin Zentrum enthemmt, und damit eine Bewegung, entsprechend der im Wohin-Pfad berechneten Koordinaten, ausgelöst wird. Auf der übergeordneten Ebene (Level 2) werden die Bewegungsentscheidungen programmiert. Dies geschieht durch Prozesse der reziproken Interaktion und Hemmung zwischen einem im Wann-Pfad angesiedelten Fixations-Zentrum und einem im Wohin-Pfad postulierten Bewegen-Zentrum. Sinkt die Aktivität im Fixations-Zentrum, verringert sich gleichzeitig der hemmende Einfluss auf das Bewegen-Zentrum und führt dort zu einem Anstieg der Aktivität, gleiches gilt auch in umgekehrter Richtung. Sinkt die Aktivität im Fixations-Zentrum unter ein bestimmtes Level, öffnet sich der Schalter in der untergeordneten Motorkommandoebene. Das Bewegen-Zentrum im Wohin Pfad ist als Netzwerk im Sinne einer räumlich organisierten Salienzkarte konzeptualisiert, d.h. Orte, die mit einiger Wahrscheinlichkeit Ziel einer Sakkade sein könnten, sind durch Aktivitätsgipfel kodiert. Entsprechend einem Alles-oder-nichts-Prinzip entscheidet die Aktivität mit dem höchsten Wert in der Salienzkarte über den Ort des nächsten Sakkadenziels. Ebene 3 wird von den Autoren mit automatischen Prozessen der Informationsverarbeitung in Zusammenhang gebracht. Bestimmte visuelle Ereignisse am aktuellen Fixationsort, wie z.B. der Onset eines Reizes, führen im Wann-Pfad zu einer Erhöhung der Aktivität des Fixations-Zentrums. Veränderungen in der Peripherie hingegen führen zu einer Veränderung des Aktivitätsmusters in der Salienzkarte, jedoch gleichzeitig auch zu einer Erhöhung der Aktivität im Fixations-Zentrum. Während die Verarbeitungsprozesse in den unteren drei Ebenen unser Blickverhalten in einer stereotypen Art und Weise beeinflussen, werden auf Level 4 und 5 automatisierte, gewohnheitsmäßige sowie willentliche kognitive Kontrollprozesse diskutiert. Automatisierte Prozesse auf Level 4 stehen dabei in engem Zusammenhang zu impliziten und erlernten Verarbeitungsmustern und Gedächtnisprozessen. Prozesse auf Level 5 hingegen umfassen die Aspekte der willentlichen Steuerung und des Einfluss von Zielen und Aufgaben auf das Blickverhalten.

Der Effekt von am Fixationsort dargebotenen Distraktoren auf die Fixationsdauer wird in diesem Modell als ein auf Ebene 3 generierter und durch den Onset des Stimulus hervorgerufener automatischer Prozess der Aktivierung des Fixations-Zentrums interpretiert.

Peripher dargestellte Distraktoren können eine ähnliche Aktivierung des Fixations-Zentrums entfalten, diese wird jedoch über die Verarbeitung im Bewegun-Zentrum des Wohin-Pfads vermittelt. Die Effekte von Distraktoren auf räumliche Parameter der Sakkadengenerierung (*global effect*) werden ebenfalls auf spezifische Mechanismen der Verarbeitung im Wohin-Pfad zurückgeführt. In Anlehnung an neurophysiologische Befunde wird davon ausgegangen, dass Informationen als Aktivitätsmuster in einer topografisch orientierten Salienzkarte kodiert sind. Die charakteristische Art und Weise der Kodierung (*distributed mapping*) führt dazu, dass zwei gleichzeitig auftauchende Reize nur ein Aktivitätsmuster erzeugen können, was jedoch von beiden Reizen beeinflusst wird und daher zu spezifischen Effekten auf räumliche Parameter der Sakkadengenerierung führt. Überraschenderweise bleibt das Modell jedoch unspezifisch, was die von den gleichen Autoren (Walker, et al., 1997) beschriebenen reziproken Einwirkungen auf SRT und Sakkadenamplitude in Abhängigkeit räumlicher Parameter der Distraktorpräsentation angeht.

Ein ähnlicher Ansatz, aber mit stärker neurophysiologischen Hintergrund, wurde von Reingold und Stampe (2000) vorgeschlagen. In verschiedenen Untersuchungen mit blickkontingenten Distraktordarbietungen konnten die Autoren nachweisen, dass die Verlängerung der SRT bzw. Fixationsdauer auf eine charakteristische Hemmung von Sakkaden in einem relativ gut definierbaren Zeitfenster nach Distraktor-Onset zurückgeführt werden kann. Aufgrund dieses über verschiedene Aufgaben (Lesen, visuelle Suche) und in stereotyper Weise auftretenden Musters sakkadischer Hemmung mit einem Onset von ~70 ms und einem Maximum bei ~100 ms nach Beginn der Distraktordarbietung, gingen die Autoren davon aus, dass es sich um einen reflexartigen, auf unteren Ebenen des visuellen Systems gesteuerten okulomotorischen Effekt handeln müsse.

Auf neurophysiologischen Level wird dieses Phänomen der Hemmung von Sakkaden mit der Aktivität des Superior Colliculus (SC), einer Struktur des Mittelhirns, in Zusammenhang gebracht (z.B. Dorris, Pare & Munoz, 1997; Munoz, Dorris, Pare & Everling, 2000; Munoz & Istvan, 1998; Reingold & Stampe, 1999, 2000; Sparks, 2002). Der SC ist eines der wichtigsten Zentren für die Steuerung von Blickbewegungen (Schiller & Tehovnik, 2001; Sparks, 2002). Er erhält direkten visuellen Input von der Retina und hat zahlreiche zum Teil reziproke Verbindungen zu anderen kortikalen und subkortikalen Bereichen des visuellen Systems und des Netzwerks zur Blickbewegungssteuerung und zur Steuerung der visuellen Aufmerksamkeit (Bisley, 2011; Pierrot-Deseilligny, Milea & Muri, 2004; Schall, 2004; Schlag-Rey, Schlag & Dassonville, 1992; Sparks & Barton, 1993; Sparks & Hartwich-Young, 1989; Sprague, 1991). Er liefert außerdem den Hauptinput an Signalen für die motorischen Zentren der Sakkadengenerierung im Hirnstamm (Isa & Sparks, 2006). Visuelle Information von der Retina können den SC mit einer minimalen Latenz von 35 ms erreichen (vgl. Reingold & Stampe, 2000). Wie Reingold und Stampe argumentieren, ist der SC damit die einzige Struktur, welche eine Hemmung von Sakkaden mit der in den Experimenten beobachteten geringen Latenz von 60-70 ms vermitteln könnte.

---

In einer ihrer Studien untersuchten Reingold & Stampe (2004) auch die Wirkung akustischer Distraktoren. Im Vergleich zur unbeeinflussten Fixationen war keine Verlängerung der Fixationsdauer feststellbar. Die Autoren schlossen daraus, dass sakkadische Hemmung ausschließlich ein Effekt der visuellen Informationsverarbeitung sein müsse. Ähnliche Befunde, allerdings mit anderen Paradigmen, wurden auch von Ilg, Jin, Schumann, & Schwarz (2006) sowie Ross und Ross (1981) berichtet. Diese Ergebnisse stehen jedoch im Kontrast zu einer Anzahl anderer Studien, bei denen deutliche Effekte einer Fixationsdauer-Verlängerung für akustische und somatosensorische Distraktoren sowohl in „Fixieren-Springen-Experimenten“ als auch in Paradigmen mit blickkontingenter Darbietung nachgewiesen werden konnte (Amlot, Walker, Driver & Spence, 2003; Marx, Pieper, Pannasch & Velichkovsky, 2005; Pannasch, 2003; Pannasch, et al., 2001; Pannasch & Velichkovsky, 2009) und widersprechen damit der Interpretation von Reingold und Stampe (2004), es handle sich um ein rein visuelles Phänomen.

Mit Blick auf diese Befundlage vermuteten Pannasch und Kollegen (2001) daher, dass der Distraktoreffekt auch im breiteren Kontext einer eher generellen Reaktion auf Veränderung, der sogenannten Orientierungsreaktion (OR), interpretierbar sei, wobei ein ähnlicher Erklärungsansatz zur Wirkung plötzlicher visuellen Veränderungen auf das Blickverhalten auch in einer früheren Arbeit von De Graef (1998) zu finden ist. Dabei beziehen sich die Autoren auf die Vorstellungen Sokolovs (1960, 1963), wonach die OR einen globalen Mechanismus des Organismus zur Ausrichtung von Aufmerksamkeit als Reaktion auf plötzliche oder unerwartete Veränderungen in der Umwelt beschreibt. Da die OR mit verschiedenen Veränderungen im Verhalten und in physiologischen Parametern einhergeht, wurde von Pannasch und Kollegen (2001) vermutet, dass der Distraktoreffekt einen Teil oder Aspekt dieses Reaktionsmusters darstellen könnte.

Wie Pannasch und Kollegen (2001) betonen, stellen sie die generelle Beteiligung des SCs als neurophysiologische Grundlage des Effekts nicht in Frage. Ein Blick auf die vorhandene Literatur lässt vielmehr erkennen, dass von vielen Autoren die Bedeutung des SC für Orientierungsverhalten und Aufmerksamkeitsprozesse hervorgehoben wurde (Corneil, Olivier & Munoz, 2002a; Dean, Redgrave & Westby, 1989; Doubell, Skaliora, Baron & King, 2003; Goldberg & Wurtz, 1972; Goodale & Murison, 1975; Ignashchenkova, Dicke, Haarmeier & Thier, 2004; Katyal, Zughni, Greene & Ress, 2010; Peck, 1996). Da der SC direkte sensorische Inputs anderer Modalitäten (somatosensorisch, akustisch sowie olfaktorisch) erhält (vgl. Sparks & Hartwich-Young, 1989; Wallace, Wilkinson & Stein, 1996), ist er in besonderer Weise geeignet, eine Beeinflussung des Blickverhaltens durch Stimulation aus verschiedenen Wahrnehmungsmodalitäten zu ermöglichen. Wie die Forschung der vergangenen Jahre gezeigt hat, besteht eine wesentliche Funktion des SC in der Integration der der Informationen aus verschiedenen Modalitäten (Multisensorische Integration – vgl. King, 2004; Stein & Stanford, 2008; Wallace, Meredith & Stein, 1998). Das Ergebnis dieser Integrationsprozesse moduliert dabei in entscheidender Weise wichtige Komponenten des

Orientierungsverhaltens, wie der Blick- und Kopfbewegungen (Corneil, et al., 2002a; Corneil, Olivier & Munoz, 2002b).

Die inhaltliche Verbindung von Distraktoreffekt und OR ermöglicht die Ableitung einer Reihe neuer, empirisch testbarer Hypothesen über dessen Wirkungsweise. Diese betreffen z.B. die Beeinflussbarkeit durch Neuheit und zeitliche Aspekte der Distraktordarbietung, denn ein zentrales Merkmal der OR besteht in deren Abnahme bei wiederholter Darbietung eines Stimulus. Darüber hinaus scheinen Aufmerksamkeitsprozesse und Bedeutung eines Stimulus eng mit der OR verknüpft zu sein. Insgesamt eröffnet diese Sichtweise also einen interessanten Zugang zur experimentellen Untersuchung der Mechanismen der Distraktorverarbeitung.

### 3. Ziel der Arbeit

Wie oben dargestellt, führen plötzliche und unerwartete Veränderungen des sensorischen Inputs – sogenannte Distraktoren – im Blickverhalten zu einer Verlängerung der betroffenen Fixationsdauer bzw. dem Anstieg der Reaktionszeit zum Ausführen einer neuen Sakkade. Obwohl dieses als Distraktoreffekt bekannte Phänomen bereits vielfach untersucht wurde, sind bestimmte Aspekte der funktionellen und neuronalen Mechanismen noch nicht vollständig geklärt. Ein wesentliches Ziel dieser Arbeit bestand darin, zu einem besseren Verständnis der daran beteiligten Prozesse beizutragen. Dazu sollte in einer Reihe von Experimenten untersucht werden, durch welche Faktoren der Distraktoreffekt moduliert werden kann.

Verschiedene Modelle wurden in der Vergangenheit zur Beschreibung des Distraktoreffekts und der dabei ablaufenden Prozesse entwickelt. Einer dieser Erklärungsansätze (De Graef, 1998; Pannasch, et al., 2001) stellt den Distraktoreffekt funktionell in engen Zusammenhang zum Konzept der Orientierungsreaktion (OR). Nach Sokolov (1963) beschreibt die OR einen globalen Mechanismus des Organismus zur Ausrichtung von Aufmerksamkeit auf plötzliche Veränderungen in der Umwelt. Sie ist gekennzeichnet durch eine Hinwendung zum Reiz und eine Reihe von Reaktionen in verschiedenen psychophysiologischen- und Verhaltenssystemen. Die distraktorinduzierte Verlängerung der Fixationsdauer könnte man also als Teil dieses Reaktionsmusters interpretieren.

Theoretischen Überlegungen zufolge sind zwei Merkmalsdimensionen eines Reizes für das Auslösen und die Modulation einer OR wesentlich – Neuheit und Relevanz (O’Gorman, 1979; Sokolov, 1963). Beide Faktoren wurden im Rahmen dieser Arbeit untersucht, um die Plausibilität des Zusammenhangs von Distraktoreffekt und OR empirisch zu testen. Der Einfluss von Neuheit zeigt sich typischerweise in der Abnahme der OR bei wiederholter Darbietung eines Stimulus. Diese Reduktion der OR wird als Habituation bezeichnet. Im ersten Teil der Arbeit sollte der Einfluss von Neuheit auf den Distraktoreffekt durch Analyse von Habituationsprozessen untersucht werden. Bisher ist nicht bekannt, ob und in welchem Maße der Distraktoreffekt einer solchen Modulation infolge Habituation unterliegt. Darüber hinaus bestand die Frage, über welche Mechanismen solche Habituationseffekte auf neurophysiologischer Ebene vermittelt werden.

Wie bereits in früheren Studien von Reingold und Stampe (1999, 2000, 2004) sowie von Pannasch und Kollegen (Pannasch, 2003; Pannasch, et al., 2001) wurde in der aktuellen Arbeit auf ein experimentelles Paradigma mit blickkontingenter Distraktordarbietung zurückgegriffen. Dies ermöglichte die Analyse des Effekts in einer natürlichen Wahrnehmungsaufgabe, wie der freien Bildbetrachtung. Während die Messung von Blickbewegungen die Untersuchung der Prozesse anhand okulomotorischer Verhaltensdaten ermöglichte, sollten durch parallele Aufzeichnung elektroenzephalografischer (EEG)

---

Aktivität zusätzliche Erkenntnisse über die an der Verarbeitung von Distraktoren beteiligten kortikalen Gehirnmechanismen erlangt werden.

In einem weiteren Schritt sollte die Wirkung von Relevanz eines Reizes auf den Distraktoreffekt untersucht werden. Wenn Bedeutung eines Stimulus eine wesentliche Determinante für die Ausprägung der OR darstellt, dann müsste sich dies, mit Bezug zum Distraktoreffekt, in einer Modulation des Effekts der Fixationsdauererlängerung niederschlagen. Auch hierzu existieren bisher kaum belastbare empirische Befunde. Um dies zu testen, wurden verschiedene Möglichkeiten der experimentellen Manipulation von Relevanz eingesetzt. In Studie 3 sollte der Einfluss aufgabenspezifischer Relevanz auf den Distraktoreffekt untersucht. Sowohl aus theoretischer wie auch aus empirischer Sicht (Öhman, 1986; Vuilleumier & Driver, 2007) scheinen Emotionen auslösende Reize eine besondere Form biologischer relevanter Informationen darzustellen. In zwei weiteren Studien wurde daher die Wirkung emotionaler Inhalte auf den Distraktoreffekt getestet.

Der letzte Teil der Arbeit schließlich verlässt den zuvor skizzierten inhaltlichen Rahmen eines Zusammenhangs von Distraktoreffekt und OR, um der Frage nachzugehen, ob aktuelle Aufmerksamkeits- und Verarbeitungsunterschiede innerhalb einer Fixation zu einer Modulation der Verarbeitung eines Distraktors führen können. Theoretische Grundlage dieser Fragestellung bilden Annahmen, die an der Arbeitsgruppe für Angewandte Kognitionsforschung entwickelt wurden (Unema, Pannasch, Joos & Velichkovsky, 2005; Velichkovsky, Joos, Helmert & Pannasch, 2005; Velichkovsky, Rothert, Kopf, Dornhoefer & Joos, 2002). Es wurde vermutet, dass sich aus spezifischen Mustern im Blickverhalten (d.h. der Dauer und Amplitude aufeinanderfolgender Fixationen und Sakkaden) Hinweise über zugrunde liegende Verarbeitungsmechanismen innerhalb einer Fixation ableiten lassen. Bereits in einer früheren Studie konnte gezeigt werden, dass die Amplitude der vorhergehenden Sakkade die Verarbeitung eines Distraktors (i.S. der Fixationsdauererlängerung) moduliert (Pannasch & Velichkovsky, 2009). Bisher wurde dies jedoch lediglich auf Verhaltensebene als Unterschied im Ausmaß der sakkadischen Hemmung nachgewiesen. Durch Analyse von parallel zu den Blickbewegungen aufgezeichneten EEG-Daten sollten die kortikalen Korrelate einer solchen Modulation der Distraktorverarbeitung näher untersucht werden.

---

## 4. Allgemeine Methoden

Alle Studien dieser Arbeit verwendeten ein ähnliches experimentelles Paradigma bei dem Distraktoren blickkontingent während einer freien Bildbetrachtungsaufgabe dargeboten wurden. Zum besseren Verständnis soll im Folgenden Kapitel zunächst der allgemein Ablauf des Paradigmas und weitere methodische Aspekte bezüglich der Aufzeichnung von Blickbewegungen und der Analyse der Daten dargestellt werden.

### 4.1 Das Paradigma der blickkontingenten Darbietung von Distraktoren

Blickkontingente Darbietung bedeutet zunächst nichts anderes als eine Darstellung von Reizen, die zeitlich und räumlich an aktuelle Blickbewegungen gekoppelt sind. Diese Idee wurde erstmals von McConkie und Rayner (1975) für Untersuchungen beim Lesen angewandt. Später wurde diese Prozedur auch auf die Untersuchung des Distraktoreffekts beim Lesen (McConkie, et al., 1992; Reingold & Stampe, 2004), bei visueller Suche (Reingold & Stampe, 1999) und bei freier Bildbetrachtung (Pannasch, 2003; Pannasch, et al., 2001) übertragen.

In allen Studien dieser Arbeit erfolgte die Darbietung blickkontingenter Distraktoren während einer freien Bildbetrachtungsaufgabe. Die Aufgabe der Probanden bestand darin, sich eine Reihe von Bildern aufmerksam anzuschauen, um jeweils im Anschluss eine Abfrage zum Inhalt des gerade betrachteten Bildes beantworten zu können. Das Stimulusmaterial für die Bildbetrachtung bestand (mit Ausnahme von Studie 5) in digitalisierten Abbildungen von Gemälden des 17.-19. Jahrhunderts, auf denen Alltagssituationen mit zwei oder mehreren Personen dargestellt waren (siehe Abbildung 1). Diese Bilder wurden in Graustufen<sup>1</sup> und mit einer Auflösung von 1152 x 864 Pixel dargeboten.

Untersucht wurde, wie das Auftauchen plötzlicher Veränderungen (Distraktor), die innerhalb einer Fixation während der Betrachtung eingeblendet wurden, das Blickverhalten verändern. Technische Voraussetzung hierfür ist die online Erkennung von Fixationen im Blickverhalten. Diese Information wird genutzt, um die Darbietung des Distraktors bezogen auf zeitliche (Wann hat die Fixation begonnen?) und räumliche (Wo befindet sich die Fixation auf dem Bild?) Parameter der aktuellen Fixation zu steuern. Mit den verwendeten Eyelink Blickerfassungssystemen (siehe auch Kapitel 4.2) ist die Erkennung von Fixationen und Sakkaden mit einer zeitlichen Latenz von 33 ms möglich. Dies ist aus technischer Sicht hinreichend schnell, um Distraktoren zuverlässig, kurz nach Beginn der Fixation (z.B. mit einer Latenz

---

<sup>1</sup> Die Darstellung als Graustufenbild wurde gewählt, um eine bessere Erkennbarkeit der visuellen, meist farblich dargestellten, Distraktoren zu erreichen. Der Verlust an Farbinformation scheint jedoch nicht zu einer grundsätzlichen Veränderung des Blickverhaltens zu führen (vgl. von Wartburg, et al., 2005)

von 100 ms), darboten zu können. Sofern es sich um visuelle Distraktorreize handelte, wurden diese mittig zum aktuellen Fixationsort dargeboten. Dies konnte z.B. ein hellblauer Kreisring mit einem Durchmesser von  $3^\circ$  und einer Randbreite von  $0.3^\circ$  sein (vgl. Studie 1). In den durchgeführten Experimenten wurden jedoch Distraktoren unterschiedliche Art und Modalität eingesetzt. Genaue Angaben sind daher den Beschreibungen der jeweiligen Studien zu entnehmen. Eine Gemeinsamkeit aller Untersuchungen war, dass die Distraktoren 100 ms nach Fixationsbeginn und für die Dauer von 80 ms dargeboten wurden.



**Abbildung 1: Beispielbild für die freie Bildbetrachtungsaufgabe**

Innerhalb eines Experiments begann jede Bilddarbietung mit einer Eingewöhnungsphase<sup>2</sup> von fünf Sekunden. Erst im Anschluss daran erfolgte die Distraktordarbietung. Hierzu registrierte die Software online das Auftreten von Fixationen. Die Präsentation von Distraktoren erfolgte in jeder fünften Fixation. Wurde eine Fixation vor Darbietung des Distraktors beendet, erfolgte dessen Darstellung in der nächsten Fixation. War die geplante Anzahl von Distraktoren erreicht, blieb das Bild noch für zwei Sekunden auf dem Monitor sichtbar und wurde dann durch die Abfrage ersetzt.

Die Abfrage konnte entweder darin bestehen, dass der Proband eine Reihe von Fragen zum Bildinhalt beantworten musste (Studie 1, 3 und 6) oder dass er zu entscheiden hatte, ob ein gezeigter Bildausschnitt Teil des eben gesehenen Bildes gewesen war (Studie 2 und 4). Eine Beispielfrage zum Bild in Abbildung 1 lautete „War auf dem Bild im Hintergrund ein Zaun zu sehen?“ und erforderte vom Probanden eine ja/nein Auswahl per Mausclick. Die in der

---

<sup>2</sup> Bei freier Bildbetrachtung zeigen sich meist spezifische Veränderungen der Blickbewegungsparameter als Funktion der Zeit. Während die Sakkadenamplitude über die Dauer der ersten 2-5 Sekunden asymptotisch abnimmt, steigt die Fixationsdauer an, um ebenfalls nach wenigen Sekunden ein stabiles Niveau zu erreichen (Unema, et al., 2005). Die Eingewöhnungszeit verhindert eine mögliche Konfundierung dieses Verhaltens mit dem zu untersuchenden Effekt.



Wiedererkennungsaufgabe verwendeten Bildausschnitte hatten eine Größe von 150x150 Pixel und konnten vom gerade gesehenen Bild oder von einem inhaltlich oder strukturell ähnlichem Bild stammen (welches jedoch nicht Teil des Experiments gewesen war). Die Bildausschnitte von diesen „Dummybildern“ wurden in 33% der Abfragen dargeboten. Es musste per Mausklick beurteilt werden, ob der Bildausschnitt zu dem zuvor gezeigten Bild gehörte oder nicht. Die Abfragen hatten keine weitere Bedeutung für die Analyse der Daten (mit Ausnahme von Studie 5) und sollten hauptsächlich sicherstellen, dass der Proband die Bildbetrachtungsaufgabe aufmerksam durchführte.

## 4.2 Aufbau und Geräte

Der Versuchsaufbau aller Untersuchungen bestand aus (mindestens) zwei Systemkomponenten: einem Blickerfassungssystem (*Eyetracker*) für die Steuerung und Aufzeichnung der Blickbewegungen und einem Präsentations-System für die Steuerung des experimentellen Ablauf. Zusätzliche Geräte und Komponenten sind in den Kapiteln der jeweiligen Studien benannt und beschrieben.

Als Eyetracker kamen zwei verschiedene Systeme zum Einsatz: das Eyelink I System und das Eyelink 1000 System (beide von der Firma SR Research, Osgoode, Ontario, Canada). Das Eyelink I System stellt eine ältere Bauform dar und ist ein kopfbasiertes Messsystem, d.h. die Kameras zur Erfassung des Auges sind an einem Kopfgurt angebracht, den der Proband während der Zeitdauer der Untersuchung tragen muss. Es arbeitet mit einer zeitlichen Auflösung 250 Hz und hat eine räumliche Genauigkeit von  $0.5-1^\circ$ . Das Eyelink 1000 System ist ein Remote-Messsystem, d.h. die Kamera befindet sich nicht am Kopf, sondern steht mit einem Abstand von ca. 60 cm vom Auge des Probanden unterhalb des Präsentationsmonitors. Zwei verschiedene Varianten – mit und ohne Kinnstütze – sind einsetzbar. Erstere erlaubt zeitlich sehr hoch aufgelöste (bis 1000 Hz) beidäugige Aufzeichnung, erfordert aber, dass der Kopf des Probanden während der Messung durch eine Kinnstütze stabilisiert wird. Die zweite Variante toleriert Kopfbewegung in einem bestimmten Ausmaß, gestattet allerdings nur einäugige Messung bei einer maximalen zeitlichen Auflösung von 500 Hz. Die räumliche Genauigkeit dieses Systems ist mit  $0.25-0.5^\circ$  angegeben. Zum Eyelink Systemaufbau gehört weiterhin ein PC, an den die Blickbewegungskamera angeschlossen ist und der die Aufzeichnung steuert. Die zugehörige Aufzeichnungssoftware ist ebenfalls von der Firma SR Research und läuft unter einer DOS Betriebssystemoberfläche.

Bei allen Eyelink Systemen erfolgt die Definition von Blickbewegungen anhand der Erkennung von Sakkaden. Hierfür werden die samplebasierten Blickkoordinaten hinsichtlich verschiedener Kriterien der Bewegung der Pupille (Amplitude, Geschwindigkeit und Beschleunigung) analysiert. Eine Sakkade ist definiert als eine Veränderung der Blickposition von mindestens  $0.1^\circ$  Amplitude, wobei die Bewegung eine Geschwindigkeit von  $30^\circ\text{s}^{-1}$  und eine Beschleunigung von  $8000^\circ\text{s}^{-1}$  über eine Zeitdauer von mindestens 4 ms überschreiten

muss. Kommt es danach erneut zum Unterschreiten der Kriterien, wird dies als Ende der Sakkade interpretiert. Eine Nicht-Bewegung wird als das Auftreten einer Fixation registriert. Weiterführende Informationen zum Erkennungsalgorithmus und den Schwellwerten sind in Stampe (1993) zu finden.

Vor jeder Messung muss das Blickbewegungssystem kalibriert werden. Dies ermöglicht eine Zuordnung von Blick- und Bildschirmkoordinaten und eine Evaluierung der Messgenauigkeit. In allen Experimenten wurde mit einer 9-Punkt-Kalibrierung gearbeitet. Hierfür werden an verschiedenen Stellen des Präsentationsbildschirms nacheinander Punkte dargeboten, die der Proband so genau wie möglich fixieren muss. Die Blickbewegungsmessung (und somit der Start des Experiment) erfolgte erst nach erfolgreicher Kalibrierung, d.h. bei zweimaliger Messung der Kalibrierungspunkte darf an keiner der Positionen eine Abweichung  $> 1^\circ$  auftreten und die mittlere Abweichung über alle Positionen muss  $< 0.5^\circ$  betragen. Die Kalibrierung wurde mehrmals während des Experiments wiederholt, um eine hohe räumliche Genauigkeit der Messung und somit auch der Distraktordarbietung zu gewährleisten.

Das Präsentations-System für das experimentelle Paradigma bestand aus einem handelsüblichen Bürocomputer (PCU  $> 1$  GHz, RAM  $> 512$  Mb) mit einer leistungsfähigen Grafikkarte, an den ein 19“ CRT-Röhrenmonitor (Iiyama Vision Master 452 oder vergleichbare Modelle) angeschlossen war. Der Abstand zwischen Monitor und Kopf des Probanden betrug in allen Experimenten  $\sim 80$  cm. Damit hatte der Bildschirmbereich eine räumliche Ausdehnung von etwa  $26 \times 18^\circ$  Sehwinkel. Die Bildwiederholrate des Monitors betrug 100 Hz.

Der EYELINK-PC und der Präsentationsrechner waren via Ethernet miteinander verbunden. Dies ermöglichte den Austausch von Daten und Steuerbefehlen zwischen beiden Systemen. Der Präsentationsrechner kann dadurch online auf Informationen der Blickbewegungsaufzeichnung zugreifen und diese verarbeiten. Aktuelle Blickbewegungsinformationen zum Ende und Anfang von Fixationen und Sakkaden stehen im System mit einer Verzögerung von  $\sim 33$  ms zur Verfügung.

### **4.3 Stichprobe**

Die Teilnehmer der berichteten Untersuchungen waren zum größten Teil Studenten der Technischen Universität Dresden. Ein kleiner Teil waren Nichtstudenten, die über Anzeigen in Zeitungen oder via Internet sowie aus dem Bekanntenkreis der Studienleiter akquiriert wurden. Alle Teilnehmer hatten kein vorheriges Wissen hinsichtlich des wissenschaftlichen Zwecks der Untersuchung, wurden aber am Anfang über den Ablauf des Experiments und im Anschluss über den Sinn der Studie aufgeklärt. Im Einklang mit den ethischen Richtlinien gaben die Probanden zu Beginn ihr Einverständnis zur Teilnahme bekannt. Die Probanden erhielten für ihre Teilnahme entweder eine Aufwandsentschädigung von 5 € pro Stunde oder

Versuchspersonenstunden. Alle Teilnehmer verfügten über normales oder korrigiertes Sehvermögen.

#### 4.4 Allgemeine Angaben zur Datenanalyse

Der untersuchte Effekt stellt sich im Verhalten als Verlängerung der vom Distraktor betroffenen Fixation dar, d.h. der primäre Indikator für die Analyse der Daten war die Fixationsdauer. Vor der statistischen Analyse mussten jedoch zunächst alle ungültigen Fixationen aus dem Datenpool entfernt werden. Dazu zählten:

- Fixationen < 100 ms, denn eine Distraktordarbietung erfolgte erst nach 100 ms
- Fixationen < 120 ms vor und nach Lidschlägen – entsprechend den Empfehlungen des Eyetracker Herstellers (SR Research Ltd, 2008 S. 108)
- Fixationen mit Koordinaten außerhalb des Monitorbereichs
- Distraktorfixationen mit zeitlich fehlerhafter Darstellung der Distraktoren (d.h. außerhalb  $\pm 10$  ms zur geplanten Distraktorlatenz)

Da alle der hier dargestellten Experimente darauf abzielen, den Einfluss verschiedener unabhängiger Variablen auf die distraktorinduzierte Verlängerung der Fixationsdauer zu untersuchen, ist das generelle Vorgehen der statistischen Auswertung in den einzelnen Studien sehr ähnlich. Als Maß des Distraktoreffekts im Blickverhalten (abhängige Variable) wurde vorrangig die Verlängerung der Fixationsdauer analysiert. Diese wurde berechnet als Differenz der Mediane der Fixationsdauer von Distraktor- und Baselinefixationen. Als Baseline wurden die Fixationen definiert, die nicht von der Darbietung eines Distraktors betroffen waren, d.h. die jeweils zwei Fixationen vor und nach einer Distraktorfixation. Die so berechneten Differenzwerte wurden mittels mehrfaktorieller Varianzanalysen mit Messwiederholung analysiert. Je nach angestrebtem varianzanalytischem Modell musste für jede Kombination der interessierenden unabhängigen Variablen ein Differenzwert gebildet werden. Bei Verletzung der Sphärizitäts-Annahmen der Varianzanalyse wurden Greenhouse-Geisser korrigierte  $F$ -Werte in der Darstellung der Ergebnisse berichtet. Post-hoc Analysen mittels Bonferroni-korrigierter Einzelvergleiche ( $t$ -Tests) wurden herangezogen, um genauere Aussagen zur Richtung und Art der erzielten Haupt- und Interaktionseffekts zu erhalten. In der Ergebnisdarstellung sind an den entsprechenden Stellen Bonferroni-korrigierte Signifikanzniveaus berichtet. Soweit nicht anders angegeben, wurden die statistischen Analysen mit der Software SPSS 15 (bzw. 17) durchgeführt.

## 5. Der Einfluss von Neuheit auf den Distraktoreffekt

### 5.1 Theorie der Orientierungsreaktion

Für die Herleitung von Hypothesen, die eine empirische Testung des Zusammenhangs von OR und Distraktoreffekt ermöglichen, ist zunächst ein genaueres Verständnis des Konzepts der OR erforderlich. Der Ansatz der OR basiert in seiner frühesten Form auf den Ideen des russischen Physiologen Iwan Pavlov (1927). Er studierte diesen so genannten „Was ist das?“ Reflex in seinen berühmt gewordenen Untersuchungen mit Hunden, wobei ihn speziell die Verbindungen zu Mechanismen des klassischen Konditionierens interessierten. Später wurde das Konzept von Sokolov (1960, 1963) weiterentwickelt. Er definierte die OR als einen Mechanismus zur Ausrichtung von Aufmerksamkeit, wenn plötzliche und unerwartete Veränderungen in der Umwelt auftreten. Die OR ist gekennzeichnet durch ein komplexes Muster von Reaktionen im Verhalten wie der Unterbrechung aktueller Aktivität und der Hinwendung des Körpers, des Kopfes, der Ohren und der Augen zur Quelle des Reizes sowie von Veränderungen in verschiedenen physiologischen Systemen des Organismus. Letzteres zeigt sich vor allem in Indikatoren des autonomen Nervensystems, wie der Pupillengröße, der elektrodermalen Aktivität (Hautleitfähigkeit), der Atmung, der Herzrate und der vaskulären Aktivität (Blutfluss), sowie des zentralen Nervensystems, d.h. in Parametern elektroenzephaler Gehirnaktivität. Gemäß der Theorie dienen alle diese Veränderungen dazu, dem Organismus eine optimale Verarbeitung des Reizes zu ermöglichen. Weiter beschrieb Sokolov die OR als einheitlichen Prozess (*unitary response*), d.h. alle durch die OR hervorgerufenen Veränderungen in physiologischen und Verhaltensparametern sollten ein ähnliches Reaktionsmuster aufweisen.

Prinzipiell wurde vermutet, dass Veränderungen in allen Wahrnehmungsmodalitäten die Fähigkeit haben eine OR auszulösen. Während jedoch Pavlov noch annahm, dass jegliche Reizkonfiguration zu einer OR führen könne, beschränkte Sokolov (1960, 1963) dies auf „ungefährliche“ Reize. Wie seine Studien ergaben, führten Stimulationen mit sehr hoher Reizintensität (nahe und über der Schmerzgrenze) zu einem auf deskriptiver und funktioneller Ebene differenzierbaren Reaktionsmuster, das als Defensivreaktion (DR) bezeichnet wurde. Die DR wurde als Schutzreflex vor potentiell schädigenden Einflüssen betrachtet und geht mit herabgesetzter sensorischer Sensitivität und Informationsverarbeitung einher. Auf der Ebene psychophysiologischer Reaktionen zeigt sich dies unter anderem darin, dass eine OR zu einer Abnahme der Herzrate, eine DR jedoch durch einer Zunahme selbiger gekennzeichnet ist (z.B. Graham, 1979; Graham & Clifton, 1966). Darüber hinaus ist die OR von Adaptionsreaktionen (AR) abzugrenzen, welche die Veränderungen der Rezeptorsensitivität durch wiederholte Reizung beschreiben. Funktionell wird die AR mit Optimierungsprozessen im Analyser (d.h. dem zum Rezeptor gehörenden afferenten sensorischen System) in Zusammen-

hang gebracht; damit sind ARs modalitäts- bzw. analyserspezifisch (für einen Überblick siehe Turpin, 1983). Ein Beispiel für eine AR ist die Hell-Dunkel-Adaption des Auges.

In vielerlei Hinsicht beinhalten Veränderungen in der Umwelt Aspekte von Neuheit. Verallgemeinernd wird die OR daher häufig auch als eine Reaktion auf Neuheit betrachtet. Der Begriff der Neuheit ist im Kontext psychologischer Forschung jedoch unterschiedlich konzeptualisiert worden (Bunzeck, 2006). Zeitliche Parameter des Auftretens sowie Aspekte des Stimulus und des Stimuluskontexts spielen für die Beurteilung von Neuheit eine Rolle. So kann ein Reiz für einen Organismus neu sein im Sinne, dass man ihn noch niemals vorher gesehen hat, dass man ihm in der unmittelbaren Vergangenheit nicht begegnet ist, dass man ihn in einem bestimmten Kontext noch nicht begegnet ist oder dass die konstituierenden Merkmale eines Stimulus zwar bekannt sind, aber in dieser Form noch nicht zusammen vorkamen (Bunzeck, 2006; Ranganath & Rainer, 2003). Verschiedene Charakteristika einer Reizkonfiguration werden laut Sokolov (1963) zur Bewertung von Neuheit herangezogen. Neben grundlegenden perzeptuellen Merkmalen zählen hierzu z.B. die Intensität, zeitliche Charakteristika, Regelmäßigkeiten in der Darbietungsreihenfolge und den Intervallen zwischen zwei Stimulusdarbietungen sowie der Auftretenswahrscheinlichkeit (vgl. Siddle, Stephenson & Spinks, 1983).

Auch die Bedeutung eines Reizes ist für die Ausprägung einer OR wesentlich. So wird angenommen, dass Reize, die zwar an sich nicht neu, jedoch für den Organismus bedeutsam sind, zum Auslösen einer OR führen können. In Sokolovs Konzept wird dieser Bedeutungsgehalt als Signalwert eines Stimulus bezeichnet. Ein klassisches Beispiel hierfür ist die Zuwendungsreaktion, wenn man seinen eigenen Namen hört. Auf eine detaillierte Erörterung des Einflusses von Relevanz auf die OR wird später noch einmal genauer eingegangen.

## 5.2 Habituation der Orientierungsreaktion

Ein wesentliches Merkmal der OR ist die Abnahme der Aufmerksamkeitszuwendung bei wiederholter Darbietung eines Reizes. Diese Reduktion bezeichnet man als Habituation und wird in experimentellen Untersuchungen häufig herangezogen, um das Auftreten einer OR nachzuweisen. Habituationsprozesse und OR erklärt Sokolov (1960) mit Hilfe eines Reiz-Vergleichs-Mechanismus (*comperator modell*). Durch Hinwendung zu einem Reiz kommt es intern zum Aufbau eines neuronalen Modells des dargebotenen Stimulus. Dieses wird bei erneuter Präsentation immer weiter verfeinert und ergänzt. Mentales Modell und aktueller Wahrnehmungsinput werden ständig miteinander abgeglichen. Weichen aktueller Input und mentales Modell voneinander ab, kommt es zum Auslösen einer OR, wobei die Größe der Abweichung das Ausmaß und Stärke der OR bestimmt. Der Abgleich zwischen aktuellem Input und mentalem Modell erfolgt in einem kortikalen Vergleichssystem (*comperator system*; Sokolov, 1960). Dieses sendet hemmende Impulse an ein unspezifisches Verstärkersystem (*amplifying system*; Sokolov, 1960). Neuroanatomisch wird dies in den

retikulären Gebieten des Hirnstamms verortet und ist für die Modulation der OR-spezifischen Verhaltensoutputs verantwortlich. Bei Übereinstimmung zwischen aktuellem Input und mentalem Model kommt es zur Hemmung des Signals an das retikuläre System und zur Verringerung der OR. Habituation ist damit von Sokolov (1963) eindeutig als Verarbeitungsprozess mit kortikalen Anteilen konzipiert.

Ein Ansatz zur parametrischen Definition von Habituationsprozessen wurde von Thompson und Spencer entwickelt (1966). Diesen Vorstellungen zufolge, muss Habituation durch verschiedene Kriterien gekennzeichnet sein, um die Reaktionsabnahme in einem System von anderen Erklärungsansätzen wie Refraktärprozessen, Adaption, Ermüdung, Hemmung oder Löschung unterscheiden zu können. Neben der Abnahme der Reaktion bei wiederholter Präsentation des Reizes, muss die Darbietung eines veränderten Reizes in einer solchen Sequenz eine Erholung der habituierten Antwort (*response recovery*) zur Folge haben. Die Fortsetzung der Reizserie mit dem zuvor gezeigten Original-Stimulus sollte nach Einfügen eines veränderten Reizes wiederum ebenfalls zu einer verstärkten Antwort (*dishabituation*) und darauf folgend zu einer Re-Habituation führen.

Eine Vielzahl von Studien haben Habituationseffekte und deren Modulation durch Faktoren wie Modalität, Intensität und zeitliche Charakteristika (Darbietungsreihenfolge, Inter-Stimulus-Intervalle, Auftretenswahrscheinlichkeit) untersucht (vgl. Siddle, et al., 1983). Dabei ließen sich zwei zeitliche Muster von Habituationsprozessen differenzieren. Die Abnahme der OR innerhalb einer Serie oder Sequenz von Reizen wird als Kurzzeithabituation bezeichnet (Barry, Feldmann, Gordon, Cocker & Rennie, 1993; Packer & Siddle, 1987; Stelmack & Siddle, 1982). Deren Stärke ist abhängig vom Inter-Stimulus-Intervall (ISI – zeitlicher Abstand zwischen zwei Reizdarbietungen); je kürzer das ISI, desto schneller oder ausgeprägter verläuft der Habituationsprozess (Gatchel & Lang, 1974; Geer, 1966; Goldwater & Lewis, 1978; Öhman, Eriksson, Fredriksson, Hugdahl & Olofsson, 1974; Thompson & Spencer, 1966). In anderen Studien konnte außerdem eine Abnahme der Reaktion über mehrere Serien von Reizen bzw. längere Zeitperioden nachgewiesen werden (Gatchel, 1975; Harding & Rundle, 1969; Packer & Siddle, 1987). Dieses Verhalten wird als Langzeithabituation bezeichnet. Effekte von *response recovery* und *dishabituation* wurden als Reaktion auf unterschiedliche Arten von Reizänderungen (z.B. Modalitäts-, Intensitäts- und Tonfrequenzänderungen) innerhalb einer Serie gleichartiger Stimuli berichtet (für einen Überblick siehe Siddle, et al., 1983).

Wie sich herausstellte, folgten nicht alle peripherphysiologischen Maße, die mit der OR in Zusammenhang gebracht wurden, den Habituationskriterien von Thompson and Spencer (1966) und widerlegten damit eine der grundlegenden Annahmen von Sokolovs Modell, der OR als einheitlicher (*unitary*) Reaktion (Barry, 1977a). So konnte eine Abnahme der OR bei wiederholter Darbietung eines Reizes für Hautleitfähigkeitsmaße und elektroenzephal Alpha-Desynchronisation nachgewiesen werden, kardiovaskuläre Maße hingegen scheinen

dieses Verhalten nicht zu zeigen (Barry, 1977b). Laut Barry (2006) konnten bisher nur für den Parameter der Hautleitfähigkeitsreaktion (*skin conductance response* – SCR) alle Habituationkriterien nachgewiesen werden. Aus methodischer Sicht legen diese Befunde nahe, dass für eine genauere Untersuchung der OR und ihrer Habituation ein geeignetes Paradigma zu wählen ist, welches die Analyse von Effekten der *response recovery* und *dishabituation* einschließt.

### 5.3 Habituation und ereigniskorrelierte Potentiale

Neben peripherphysiologischen Maßen wurden in der Vergangenheit auch verschiedene Marker elektroenzephaler Aktivität (EEG) zur Untersuchung der OR herangezogen. Außer den bereits von Sokolov (1963) beschriebenen Veränderungen der Alpha-Desynchronisation haben verschiedene Komponenten des ereigniskorrelierten Potentials (EKP) Interesse erlangt. Das EKP beschreibt eine Reihe von Veränderungen im EEG nach Darbietung eines Reizes/Events (Picton, et al., 2000). Aufgrund des schlechten Signal-Rauschen Verhältnisses eines EEG-Rohsignals ist für die Erzeugung eines EKPs die Mittelung der EEG-Aktivität mehrere Reizdarbietungen gleicher Art notwendig. Im daraus entstehenden Signal kann man typischerweise eine Reihe positiver und negativer Amplituden erkennen, die bestimmte zeitliche und räumliche Verteilungskennzeichen über Schädeloberfläche aufweisen (für einen Überblick siehe Fabiani, Gratton & Federmeier, 2008).

Entsprechend der Amplitudenausrichtung und des zeitlichen Auftretens hat sich eine Nomenklatur für die Bezeichnung dieser Amplituden (auch Komponenten genannt) durchgesetzt. Dabei kennzeichnet der Anfangsbuchstabe die Ausrichtung der Amplitude (P = positiv und N = negativ) und die folgende Zahl, die zeitliche Latenz bzw. chronologische Abfolge der Amplitude. P100 und N100 Komponenten (verkürzt auch P1 und N1 bezeichnet) werden als früheste Kennzeichen kortikaler Verarbeitung infolge sensorischer Stimulation betrachtet und treten etwa 100 ms nach Onset eines Reizes auf (für die visuelle Modalität sind auch noch frühere Komponenten bekannt – vgl. Di Russo, Martinez, Sereno, Pitzalis & Hillyard, 2002). Je nach Modalität sind räumliche Verteilung und zeitliches Auftreten dieser Komponenten unterschiedlich. So findet man bei akustischer Stimulation die größten Amplituden der P100 und N100 im Bereich des Temporallappens und bei visueller über den Gebieten des Okzipitallappens. Die Latenzen der Komponenten sind aufgrund höherer Reizleitungsgeschwindigkeiten zu den primären sensorischen Arealen des Kortex bei akustischer im Vergleich zu visueller Stimulation kürzer.

Die zeitlich folgenden P200 und N200 Komponenten werden ebenfalls mit modalitätsspezifischen Verarbeitungsprozessen (z.B. Veränderungsentdeckung) in Zusammenhang gebracht (Heinze, Luck, Mangun & Hillyard, 1990; Luck, Heinze, Mangun & Hillyard, 1990; Simson, Vaughn & Ritter, 1977). Spätere Komponenten wie P300 und N400 werden mit Mechanismen kontrollierter und reflexiver Aufmerksamkeitszuwendung sowie mit

Gedächtnisleistungen assoziiert. Während letztere Komponenten (P300 und N400) das Vorhandensein von Aufmerksamkeit hin zum Stimulus voraussetzen (Fabiani, et al., 2008), sind die zuvor genannten davon unabhängig, können jedoch durch Aufmerksamkeitsprozesse moduliert werden (Eimer, 2000; Luck, et al., 1990; Taylor, 2002).

Sowohl die N100 als auch die P300 Amplitude sind wiederholt als Indikatoren für den Nachweis einer OR herangezogen worden. Dies steht im Einklang mit den Überlegungen Sokolovs (1963), die den Komparatormechanismus mit kortikalen Verarbeitungsprozessen in Zusammenhang bringen. Die Parameter eines EKP sollten daher besonders gut die Aktivität im Gehirn und der damit einhergehenden Reizverarbeitung widerspiegeln. Insbesondere wurde die Habituation dieser Komponenten untersucht. Dazu wurden den Probanden Serien gleicher Reize dargeboten. Im Einklang mit klassischen Experimenten zur OR zeigten sich für die N1 Komponente in verschiedene Modalitäten (visuell, akustische, haptisch) sowohl schnelle als auch langsame Habituationseffekte (Barry, Cocker, Anderson, Gordon & Rennie, 1992; Bruin, Kenemans, Verbaten & Van der Heijden, 2000; Fruhstorfer, 1971; Kekoni, Tiihonen & Hamalainen, 1992; Kenemans, Verbaten, Roelofs & Slangen, 1989; Laurian & Gaillard, 1976; Loveless, 1983; Näätänen & Picton, 1987; Ritter, Vaughan & Costa, 1968; Rust, 1977; Sambeth, Maes, Quian Quiroga, Van Rijn & Coenen, 2004; Verbaten, Roelofs, Sjouw & Slangen, 1986; Wastell & Kleinman, 1980; Westenberg & Weinberger, 1976; Woods & Elmasian, 1986). Schnelle Habituationseffekte waren häufig durch eine rapide Abnahme der N1 vom ersten zum zweiten Reiz in einer Serie gekennzeichnet. Systematische Untersuchung zum Einfluss des ISI (Budd, Barry, Gordon, Rennie & Michie, 1998; Nelson & Lassman, 1968; Woods, Courchesne, Hillyard & Galambos, 1980) zeigten, dass die Abnahme der Reaktion bis zu einem asymptotischen Minimum umso schneller erfolgte, je kürzer der zeitliche Abstand zwischen den Reizen war. Studien konnten weiterhin einen Anstieg der Reaktion nach Einfügen eines abweichenden Reizes nachweisen (Budd, et al., 1998; Kenemans, et al., 1989; Westenberg & Weinberger, 1976; Woods & Elmasian, 1986).

Auch für die P300 wurden schnelle und langsame Habituationseffekte berichtet (Bruin, et al., 2000; Geisler & Polich, 1994; Kececi, Degirmenci & Atakay, 2006; Ravden & Polich, 1998; Romero & Polich, 1996; Rushby & Barry, 2007), wobei verschiedene Befunde auf eine weniger schnelle Abnahme der P3 im Vergleich zur N1 hindeuten (Bruin, et al., 2000; Zimmer, 2006). Auch Effekte der Antworterholung sind für die P3 nachgewiesen worden (Kenemans, et al., 1989; Rushby & Barry, 2007; Rushby, Barry & Doherty, 2005). In einer der Studien ließen sich außerdem Korrelationen zwischen der Aktivität im P3 Zeitfenster und der SCR (Rushby, et al., 2005), einem der wichtigsten psychophysiologischen Marker der OR, aufzeigen. Weiterhin fanden sich in dieser Studie Anzeichen von Dishabituationseffekten für die P3 Komponente.



Zahlreiche Forscher der westlichen Hemisphäre haben die Überlegungen Sokolovs zur OR aufgegriffen. Obwohl die anfangs lebendige Debatte (siehe z.B. Bernstein, 1979; Groves & Thompson, 1970; Maltzman, 1979a; O'Gorman, 1979; Öhman, 1979) über die Jahre hinweg etwas abgeflaut ist, hatten diese Ideen wesentlichen Anteil an der Entwicklung von Theorien und Paradigmen in der modernen psychophysiologischen Forschung. Wenngleich manche Aspekte in jüngerer Zeit revidiert (Barry, 2006) und verfeinert wurden (z.B. in Hinblick auf die beteiligten neuroanatomischen Strukturen – vgl. Blackford, Buckholtz, Avery & Zald, 2010; Sander, Grafman & Zalla, 2003; Tipper, Handy, Giesbrecht & Kingstone, 2008; Wright, et al., 2003), liefern Sokolovs Annahmen auch heute noch wichtige Ideen und Konzepte zur Untersuchung eines der zentralen Mechanismen menschlicher Informationsverarbeitung.

## 5.4 Habituation des Distraktoreffekts: Studie 1

### 5.4.1 Einführung

Obwohl früherer Befunde zunächst darauf hindeuteten, der Distraktoreffekt sei ein Phänomen rein visueller Informationsverarbeitung (Reingold & Stampe, 1999, 2000), gibt es inzwischen eine Vielzahl von Studien, die zeigen, dass auch Distraktorreize anderer Modalitäten zu einer signifikanten Verlängerung der Fixationsdauer führen können (z.B. Amlot, et al., 2003; Pannasch, et al., 2001; Pannasch & Velichkovsky, 2009). Auf Basis dieser und weiterer Ergebnisse wurde von Pannasch und Kollegen (2003; 2001) eine Interpretation des Effekts im breiteren Rahmen der OR (sensu Sokolov, 1960, 1963) vorgeschlagen. Demnach könnte die Verlängerung der Fixationsdauer eine der vielen, die OR begleitenden, Veränderungen in physiologischen und Verhaltensparametern darstellen. Beim Blick auf die Literatur lassen sich noch weitere, diese Sichtweise stützende, Hinweise finden. So wurde bereits von Dean et al. (1989) die funktionelle Bedeutung des SC für Orientierungsverhalten hervorgehoben. Dies ist insofern interessant, da die dem Distraktoreffekt zugrunde liegenden Prozesse sakkadischer Hemmung mit Mechanismen im SC erklärt werden (Reingold & Stampe, 1999). Auch von DeGraef et al. (1998) wurden distraktorähnliche Effekte im Blickverhalten, die als Reaktion auf plötzlichen Veränderungen einer Szene auftraten, im Sinne einer Orientierungsreaktion interpretiert.

Ein wesentlicher Zugang zur Untersuchung der OR besteht im Nachweis von Habituationsprozessen. Eine Abnahme des Distraktoreffekts bei wiederholter Darbietung von Distraktoren ist jedoch bisher nicht eindeutig belegt (vgl. Pannasch, 2003). Im Fokus von Studie 1 stand daher die Frage, ob sich für den Distraktoreffekt solche Habituationsprozesse nachweisen lassen. Während einer freien Bildbetrachtungsaufgabe wurden den Probanden hierfür Sequenzen gleichartiger Distraktoren blickkontingent dargeboten (vgl. Pannasch et al., 2001). Wie in Kapitel 5.2 ausgeführt, konnte in zahlreichen psychophysiologischen Studien schnelle und langsame Habituationsprozesse nachgewiesen werden. In der aktuellen Untersuchung wurden schnelle Habituationseffekte durch Veränderung des Distraktoreffekts innerhalb des Bildes und langsame Habituation i.S. einer Veränderung über mehrere Bilder hinweg untersucht (vgl. allgemeine Angaben zum Paradigma – Kapitel 4.1). Das Hinzufügen eines abweichenden Stimulus innerhalb einer Sequenz gleichartiger Distraktoren erlaubte zusätzlich die Analyse von Effekten der Antwortholung (*response recovery*) und der *dishabituation*.

Kortikale Prozesse der Reizbewertung sind ein wesentlicher Bestandteil der funktionellen Mechanismen im Konzept der OR. Zusätzlich wurden daher die Zusammenhänge zwischen Distraktoreffekt und kortikalen Indikatoren der OR betrachtet. Zu diesem Zweck wurden parallel zur Blickbewegungsmessung EEG-Daten aufgezeichnet. Dies ermöglichte eine Validierung der experimentellen Manipulation durch den Vergleich des Effekts der

---

distraktorinduzierten Verlängerung der Fixationsdauer mit aus der Literatur bekannten Parametern der Habituation im EKP. Studien zur Habituation von EKP-Parametern konnten eine Abnahme für Stimuli verschiedener Modalitäten nachweisen. Es wurde erwartet, dass sich dies in ähnlicher Weise auch für den Distraktoreffekt zeigen müsste. Aus diesem Grund wurden in der Studie sowohl visuelle als auch akustische Distraktoren verwendet. Dies ermöglichte zudem, Gemeinsamkeiten und Unterschiede im Habitationsverhalten für beide Modalitäten zu analysieren.

Obwohl die Messung von Blickbewegungen und EEG-Daten häufig eingesetzte Methoden der psychologischen Forschung darstellen, sind Untersuchungen mit paralleler Aufzeichnung beider Indikatoren eher selten. Dies liegt u.a. daran, dass Blickbewegungen an sich eine wesentliche Quelle für Artefakte in den EEG-Daten darstellen (Gratton, 1998). Im Kontext der EEG-Forschung werden experimentelle Paradigmen deshalb häufig so gestaltet, dass Blickbewegungen vermieden oder deren Ausführung zumindest starker Kontrolle unterliegen. Im Gegensatz zu dieser Vorgehensweise wurde in der aktuellen Studie die Distraktordarbietung während einer freien Bildbetrachtung, und damit einer Aufgabe ohne Kontrolle über das Blickverhalten, umgesetzt. Die interessierenden Ereignisse (Distraktoren) wurden jedoch zeitlich und räumlich blickkontingent dargeboten. Bisher ist diese Kombination von blickkontingenter Darstellung und gleichzeitiger EEG-Messung nur selten eingesetzt worden (Baccino & Manunta, 2005; Marx, Pannasch & Velichkovsky, 2003). Ein Vorteil der Methode ist, dass sie eine fixationsbasierte Auswertung visueller Ereignisse ermöglicht. Auf diese Weise unterliegen Artefakte von Blickbewegungen auf das EEG einer zeitlichen Kontrolle, was im fixationsbasiertem EKP zu einer deutlichen Verbesserung der Signalqualität führen sollte. Gleichzeitig erlaubt es die Analyse visueller Informationsverarbeitungsprozesse in einer Aufgabe mit kontinuierlichem und natürlichem Blickverhalten.

Das Ziel des ersten Experiments besteht darin, neue Erkenntnisse über die dem Distraktoreffekt zugrunde liegenden Mechanismen zu erlangen. Wenn eine Habituation nachgewiesen werden kann, dann ließe sich der Effekt auch als Teil einer globalen Reaktion auf Neuheit und Veränderung, bzw. im Sinne der Orientierungsreaktion, betrachten. Obwohl dieser Mechanismus bereits intensiv in unterschiedlichen Bereichen physiologischer Forschung untersucht wurde, ist er bisher nur selten in Verbindung zur distraktorinduzierten Veränderungen des Blickverhaltens gesetzt worden. Auf neuronaler Ebene sind neuheitsbasierte Reaktionen durch Aktivitätsänderungen in Regionen des mehr oder weniger gesamten Gehirns gekennzeichnet, und gehen daher weit über eine reine Verarbeitung im SC hinaus. Dazu gehören sowohl andere subkortikale Strukturen wie Amygdala (Holland & Gallagher, 2006; Panksepp, 1998, 2000) und Hippocampus (Habib, McIntosh, Wheeler & Tulving, 2003), aber auch Bereiche des temporoparietalen Kortex, des rechten präfrontalen Kortex sowie des anterioren Cingulum (Corbetta & Shulman, 2002; Dien, Spencer & Donchin, 2003; Williams, et al., 2000).

## 5.4.2 Methoden

### Stichprobe

An der Untersuchung nahmen insgesamt 46 Probanden (35 Frauen) im Alter zwischen 17 und 42 Jahren ( $M = 23.4$ ,  $SD = 6.1$ ) teil. Alle hatten normales oder korrigiertes Sehvermögen und berichteten über keine Einschränkungen des Hörvermögens.

### Aufbau und Geräte

Für die Untersuchung kam der in Kapitel 4.2 dargestellte Systemaufbau zu Verwendung. Die Messung der Blickbewegungen erfolgte mit dem EyeLink I System. Akustische Distraktorreize wurden mit einer Standard PC-Soundkarte erzeugt und auf beiden Ohren über ein Tonwiedergabesystem mit Ohrhörereinlagen (Eartone™ 3A) dargeboten.

Die Aufzeichnung des EEGs erfolgte mit einem SynAmps Verstärker (Model 5083, Neuroscan Inc., EL Paso, TX). EEG-Aktivität wurde mit Silber/Silberchlorid Elektroden von 16 Ableitpositionen erhoben (Fp1, Fp2, F7, F3, F8, F4, T7, Cz, T8, P7, P3, Pz, P4, P8, O1, O2 gemäß der Nomenklatur für Elektrodenpositionen der Amerikanischen Gesellschaft für Elektroenzephalografie), die in eine Elektrodenkappe (Easycap, Falk Minow Services, Munich, Germany) mit 10/20 System eingeknüpft waren. Elektrookulografische (EOG) Daten wurden durch eine supra- und infraorbitale Ableitung am linken Auge (vertikales EOG) und durch Ableitungen an den äußeren Canthi des rechten und linken Auges (horizontales EOG) aufgezeichnet. Die Ableitung der Ohrfläppchen diente als Referenz und eine Elektrode über AFz als Ground-Kanal. Beim Anlegen der Elektroden wurde darauf geachtet, dass die Impedanzen aller Elektroden unter 5 kOhm lagen. Die EEG-Aufnahme erfolgte kontinuierlich mit einer Abtastrate von 1000 Hz und wurde mittels Hardware Hochpass (0.3 Hz) und Tiefpass (70 Hz) gefiltert. Um im Nachhinein eine Zuordnung von Blickbewegungsdaten und EEG-Daten auf zeitlicher Ebene zu ermöglichen, wurden vom Präsentationsrechner via Parallelport zu Beginn und am Ende einer Bilddarbietung Synchronisationsmarker an das EEG-System gesendet.

### Stimulusmaterial

Als Material für die freie Bildbetrachtungsaufgabe wurden 80 Abbildungen von Gemälden des 17.-19. Jahrhunderts verwendet (vgl. Kapitel 4.1). Im Laufe des Experiments kamen zwei visuelle und zwei akustische Distraktoren zum Einsatz. Der visuelle Standarddistraktor war ein hellblauer (R: 0, G: 255, B: 252) Kreisring mit einem Durchmesser von  $2.7^\circ$  Sehwinkel und einer Randbreite  $0.3^\circ$  Sehwinkel. Als abweichender Distraktor diente ein violetter (R: 241, G: 159, B: 248) quadratischer Rahmen mit einer Kantenlänge von  $2.7^\circ$  Sehwinkel und einer Randbreite von  $0.3^\circ$  Sehwinkel, der entweder gerade oder um  $45^\circ$  gedreht, als Raute, dargestellt wurde. Der akustische Standarddistraktor war rein sinusförmiger 1000 Hz Ton mit

einer Lautstärke von 70 dB und einer Anstiegs- und Abfallzeit von 5 ms. Der akustische abweichende Distraktor war ein rein dreieckförmiger 1400 oder 1600 Hz Ton mit ansonsten gleichen Parametern wie der Standardreiz.

Die Distraktoren wurden während einer freien Bildbetrachtungsaufgabe dargeboten (vgl. Kapitel 4.1). Hierbei kamen drei verschiedene Präsentationsweisen zum Einsatz; 1) Bilder mit Standarddistraktoren und einem abweichenden Distraktor (SDAD), wobei der abweichende Distraktor in eine Sequenz von 16 Standards eingebettet war, 2) Bilder in denen ausschließlich die 17 Standarddistraktoren gezeigt wurden (SD) und 3) Bilder ohne Distraktoren (ND). Letztere Bedingung wurde durch den gleichen Algorithmus wie die Distraktorpräsentation gesteuert, nur dass keine Darbietung von Distraktoren stattfand. Dies ermöglichte die Bildung einer fixationsbasierten aber distraktorunbeeinflussten Baseline in den EKPs.

### Versuchsablauf

Die Untersuchung fand in einer schwach beleuchteten, elektromagnetisch abgeschirmten EEG-Kabine statt. Blickbewegungen und EEG-Daten wurden über den gesamten Zeitraum des Experiments hinweg kontinuierlich aufgezeichnet. Die Probanden saßen vor einem Monitor und hatten die Aufgabe Gemälde zu betrachten, um im Anschluss fünf Fragen den Inhalt des Bildes betreffend beantworten zu können (vgl. Kapitel 4.1). Die Probanden waren darüber informiert, dass während der Bildbetrachtung zusätzliche Reize (Distraktoren) auftauchen konnten, wurden aber instruiert diese zu ignorieren.

Visuelle und akustische Distraktoren wurden in getrennten Blöcken mit jeweils 40 Bildern dargeboten. Die Abfolge der Blöcke war über die Probanden ausbalanciert. Zwischen den experimentellen Blöcken erfolgte eine kurze Pause von 10 min. In jedem Block sahen die Probanden jeweils 30 SDAD, 5 SD und 5 ND Bilder in randomisierter Abfolge. Bei SDAD Bildern wurde der abweichende Distraktor zufällig an 8.-12. Position der Distraktorsequenz präsentiert. Die Darbietung der Distraktoren erfolgte nach dem in Kapitel 4.1 beschriebenen Vorgehen. Im Durchschnitt dauerte die Betrachtung eines Bildes ca. 34 s, das gesamte Experiment nahm ca. 90 min in Anspruch.

Zu Beginn, in der Pause und am Ende des Experiments mussten die Probanden einen kurzen Fragebogen ausfüllen. Mit diesem wurden Angaben zu Motivation, Entspannung, Konzentration und Müdigkeit auf einer 5-fach gestuften Skala erhoben.

### Datenanalyse

Aufgrund technischer Probleme bei der Aufzeichnung von Augenbewegungen und EEG waren die Blickdaten des akustischen Blocks von zwei Probanden und die EEG-Daten bei drei weiteren Probanden nicht verwertbar und wurden daher von der weiteren Analyse ausgeschlossen. Die Vorverarbeitung der Blickdaten erfolgte nach dem im Kapitel 4.4 beschriebenen Verfahren.

Die Analyse von Blickbewegungs- und EEG-Daten erfolgte nach einem vergleichbaren Muster. Für die Analyse der schnellen Habituation wurden nur die ersten sieben Distraktoren der SDAD und SD Bilder verwendet. Für die Analyse der langsamen Habituation wurden die Daten der 40 Bilder eines Blocks in vier aufeinanderfolgende Gruppen mit jeweils 10 Bildern aufgeteilt. Innerhalb jeder Bildergruppe wurden nur die Daten der SDAD Bilder und der SD Bilder zusammengefasst. Für die Analyse der *response recovery* und *dishabituation* bei Darbietung eines abweichenden Distraktors wurden nur die Daten der SDAD Bilder verwendet, wobei der abweichende Distraktor sowie die beiden Standarddistraktoren davor und danach ausgewertet wurden.

Die Aufbereitung der EEG-Daten erfolgte mit der Software BrainVision Analyser. Die EEG-Daten wurden offline segmentiert. Eine Epoche begann 500 ms vor und dauerte bis 1500 ms nach Fixationsbeginn. Es wurden nur Epochen für gültige Fixationen erstellt (vgl. Kapitel 4.4). Segmente, die durch starke Muskelaktivität, Lidschläge oder andere Artefakte verunreinigt waren, wurden durch manuelle Inspektion entfernt. Im Weiteren wurden die Daten mittels Bandpass (1-40 Hz) gefiltert, es folgten eine Augenartefakt-Korrektur (Gratton, Coles & Donchin, 1983), eine DC-Trend-Bereinigung sowie eine Baselinekorrektur (Zeitbereich 50-250 ms vor Fixationsbeginn). Danach wurden die EEG-Segmente gemittelt um fixationsbasierte EKPs zu erhalten. Für die Analyse der langsamen Habituation mussten mindestens 60 gültige Segmente in das EKP eines Probanden eingehen. Für die Analyse der schnellen Habituation und des abweichenden Distraktors waren jeweils 20 Segmente notwendig.

Im nächsten Schritt wurden die EKPs hinsichtlich signifikanter Unterschiede zwischen den relevanten Bedingungen untersucht. Dazu kam ein von Blair und Karniski (1993) vorgeschlagenes Verfahren zum Vergleich von EKP-Kurven zum Einsatz. Zunächst wurde mit Hilfe dieser Technik ermittelt, wo sich die EKP-Kurven der untersuchten Bedingungen signifikant voneinander unterscheiden. Das heißt, für die Analyse der schnellen Habituation wurden die Kurven des ersten und zweiten Distraktors innerhalb eines Bildes untersucht, für die langsame Habituation wurden die Distraktor-EKPs von Bildgruppe 1 (erste 10 Bilder) und Bildgruppe 2 (Bild 11-20) verglichen und für den *response recovery* Effekt wurde das EKP des abweichenden mit dem des unmittelbar zuvor dargestellten Distraktors kontrastiert. Gesucht wurde nach der Elektrodenposition und dem Zeitfenster an dem sich der früheste Unterschied zwischen den Kurven nachweisen ließ. Für dieses Zeitfenster und diese

Elektrodenposition wurde dann die mittlere EKP-Aktivität für alle weiteren Bedingungen berechnet. Die so ermittelten Werte wurden anschließend für die weitere statistische Testung mittels Varianzanalyse für Messwiederholung verwendet.

Die statistische Auswertung für Blick- und EEG-Daten erfolgte durch einfaktorielle Varianzanalysen mit Messwiederholung, getrennt für die zwei Modalitäten und die drei Habituationsbedingungen.

### 5.4.3 Ergebnisse

#### Fragebogendaten zur Ermüdung

Die Antworten der Kurzfragebögen wurden dazu verwendet, die allgemeine Ermüdung der Probanden über das Experiment hinweg zu erfassen. Die vier Ratings (Motivation, Entspannung, Konzentration und Müdigkeit) jedes der drei Erhebungszeitpunkte wurden zu einem Wert zusammengefasst. Die statistische Analyse mittels Varianzanalyse mit Messwiederholung ergab einen signifikanten Anstieg dieses Ermüdungs-Indikators über die drei Messzeitpunkte,  $F(2, 90) = 54.4$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .55$ . Post-hoc Vergleiche zeigten einen stetigen Anstieg der Ermüdung vom Beginn, über die Pause hin zum Ende des Experiments. Um diesen Einfluss zu berücksichtigen, wurde die Veränderung der Ermüdung als Kovariate in die statistische Analyse der langsamen Habituation einbezogen.

#### Blickbewegungsdaten

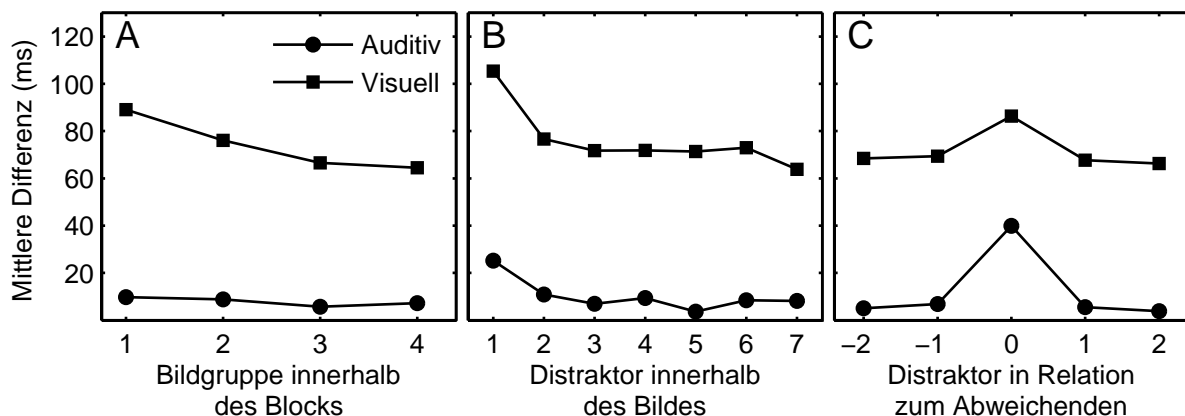
Im ersten Schritt wurde der allgemeine Effekt der Distraktordarbietung auf die Fixationsdauer analysiert. Tabelle 1 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen der Fixationsdauer für die Distraktorfixation sowie der beiden vorhergehenden und nachfolgenden Fixationen.

**Tabelle 1: Mittelwert und Standardabweichung der Fixationsdauer (in ms) der Distraktorfixation (0) sowie der beiden vorhergehenden und nachfolgenden Fixationen für beide Modalitäten.**

Distraktormodalität	Fixation relativ zur Distraktordarbietung				
	-2	-1	0	1	2
Visuell	258.9 (30.4)	261.0 (29.8)	334.3 (31.6)	263.9 (29.8)	259.6 (29.4)
Auditiv	259.4 (27.7)	260.3 (31.1)	267.1 (26.9)	257.8 (30.9)	258.8 (30.0)

In beiden Modalitäten konnte eine signifikante Verlängerung der Fixationsdauer festgestellt werden, visuell,  $F(4, 180) = 531, p < .001, \eta^2 = .92$ , und akustisch,  $F(4, 172) = 13.2, p < .001, \eta^2 = .24$ , wobei der Effekt in der visuellen Modalität deutlich stärker ausgeprägt war ( $\sim 70$  ms) als in der akustischen Bedingung ( $\sim 7$  ms).

Für die statistische Auswertung der Habituationseffekte in den Blickbewegungsdaten wurden zunächst Differenzwerte der Fixationsdauer gebildet (vgl. Kapitel 4.4). Die Bewertung der langsamen Habituation erfolgte anhand der Differenzwerte der vier aufeinanderfolgenden Bildergruppen (aggregierte Daten von jeweils 10 aufeinanderfolgenden Bildern). Da Schwankungen in der Baseline die Interpretierbarkeit der Differenzwerte erschweren, wurde zunächst die Fixationsdauer der Baseline auf Unterschiede getestet. Weder für die akustische noch die visuelle Bedingung zeigten sich systematische Veränderungen in der Baseline, beide  $F_s \leq 1$ . Der Effekt der langsamen Habituation in den Differenzwerten von Bildgruppe 1-4 ist in Abbildung 2A dargestellt. Die statistische Testung der Differenzwerte ergab eine signifikante Abnahme der Fixationsdauer für die visuelle Modalität,  $F(3, 132) = 14.4, p < .001, \eta^2 = .25$ , nicht jedoch für die akustische,  $F \leq 1$ . Nachfolgende Bonferroni-korrigierte paarweise Vergleiche zeigten für visuelle Distraktoren eine signifikante Abnahme des Effekts von Bildgruppe 1 bis zu Bildgruppe 3, aber nicht mehr danach. In den Analysen fand sich keine signifikante Interaktion mit der Kovariate Ermüdung,  $F \leq 1$ .



**Abbildung 2:** Differenzwerte der Fixationsdauer beider Distraktormodalitäten für (A) die langsame Habituation, (B) die schnelle Habituation und (C) den Effekte des abweichenden Distraktor (markiert als 0 in der Abbildung).

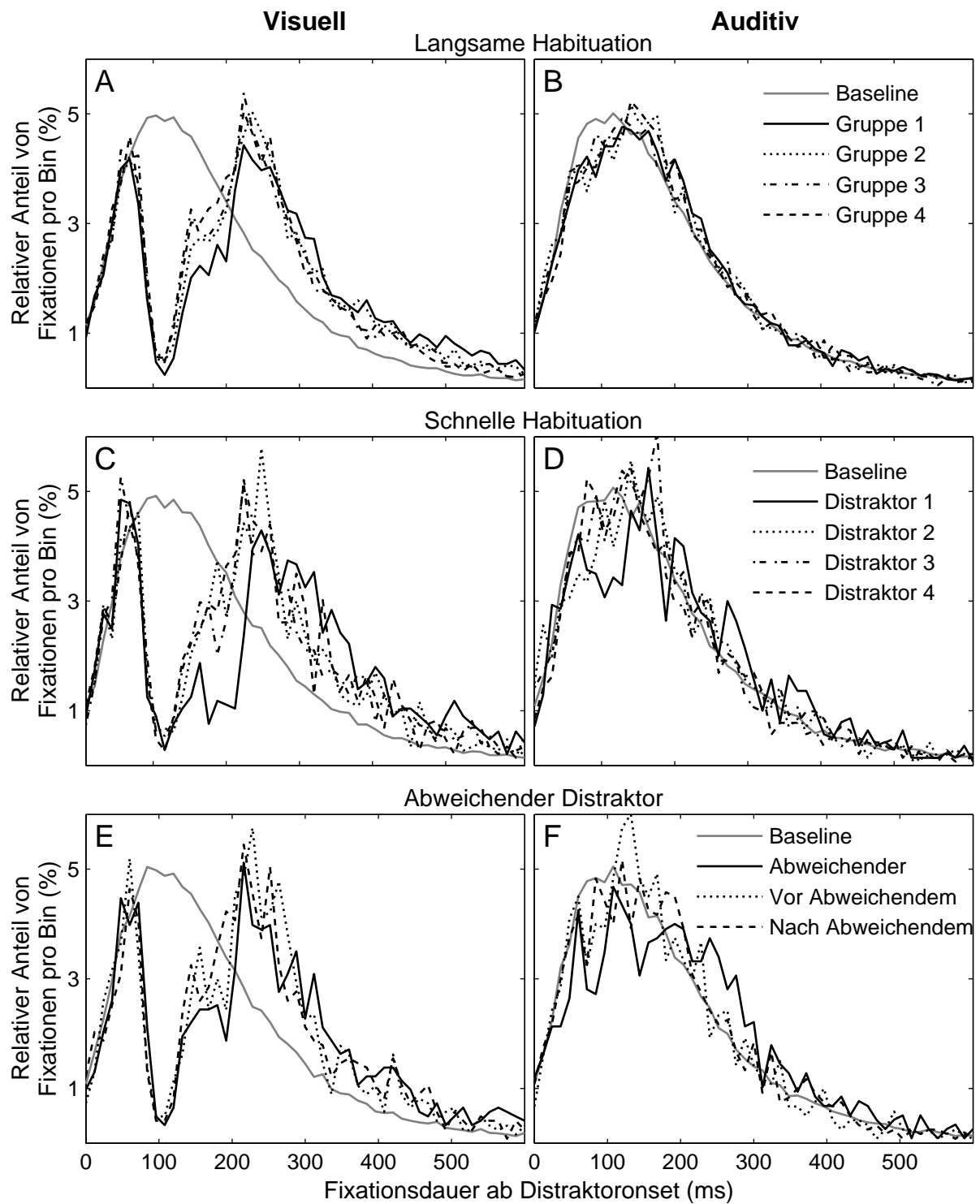
Die Auswertung der schnellen Habituation erfolgte über die ersten sieben Distraktoren innerhalb eines Bildes. Die Analyse der Fixationsdauer der Baseline ergab zwar einen signifikanten Effekt für die visuelle Modalität,  $F(6, 270) = 2.23, p = .04, \eta^2 = .05$ , dieser ließ sich jedoch nicht durch post-hoc paarweise t-Tests näher spezifizieren. Dies verweist auf eine eher unsystematische Variation in den Daten der Baseline und spricht daher nicht gegen die Verwendung von Differenzwerten in den folgenden Analysen. In Abbildung 2B ist der Effekt der Fixationsdauererlängerung für Distraktoren innerhalb des Bildes dargestellt. In beiden



Modalitäten zeigte sich eine deutliche Verringerung des Effekts vom ersten zum zweiten Distraktor, was in der statistischen Analyse durch signifikante Haupteffekte bestätigt wurde: visuell,  $F(6, 270) = 8.01, p < .001, \eta^2 = .15$ , und akustisch,  $F(6, 258) = 2.87, p < .05, \eta^2 = .06$ . Wie aus post-hoc Vergleichen hervorging, war der Effekt in beiden Modalitäten allein auf eine Abnahme der Fixationsdauer vom ersten zum zweiten Distraktor zurückführbar.

Ein Anstieg der Fixationsdauer war bei Darbietung des abweichenden Distraktors im Vergleich zu den beiden vorherigen und folgenden Distraktoren zu verzeichnen (siehe Abbildung 2C). Dies konnte für beide Modalitäten nachgewiesen werden: visuell (17 ms),  $F(4, 180) = 3.29, p < .05, \eta^2 = .07$  und akustisch (33 ms),  $F(4, 172) = 11.3, p < .001, \eta^2 = .21$ . Die post-hoc Analyse zeigte einen signifikanten Anstieg der Fixationsdauer für den abweichenden Distraktor, jedoch keine Unterschiede für den Vergleich der jeweiligen Distraktorfixation vor und nach dem abweichenden Distraktor. Das heißt, die Ergebnisse verweisen zwar auf eine Antwortholung (*response recovery*), nicht aber auf eine *dishabituation* des Effekts in der nachfolgende Distraktorfixation.

Die Häufigkeitsverteilung der Fixationsdauer ist eine weitere Möglichkeit die Wirkung des Distraktors auf das Blickverhalten darzustellen. Anhand dieser lässt sich die zeitliche Veränderung des Anteils beendeter Fixationen nach Darbietung des Distraktors beschreiben. In Abbildung 3 sind die Verteilungen für beide Modalitäten und die drei Habituationsbedingungen veranschaulicht. Es ist zu erkennen, dass sich die Verteilungen der verschiedenen Bedingungen im ersten Zeitfenster (0-70 ms) nach Distraktor-Onset nicht unterscheiden. Im folgenden Zeitsegment sind je nach Modalität deutliche Unterschiede zwischen den Verteilungen sichtbar. Bei visuellen Distraktoren (Abbildung 3 linke Seite) zeichnet sich im Vergleich zur Baseline eine deutliche Eindellung in der Verteilung ab, die ihr Maximum in einem Zeitraum zwischen 70-110 ms erreicht. Bis hierher sind die Verteilungskurven der einzelnen Distraktoren jedoch noch recht homogen. Erst im anschließenden Zeitsegment (110 bis ~220 ms) kommt es zu Unterschieden zwischen den Kurven. Hierbei scheint die zeitliche Abfolge der Distraktoren eine modulierende Rolle zu spielen. Dies ist besonders deutlich in Abbildung 3C (schnelle Habituation, visuell) zu erkennen. In der Verteilung des ersten Distraktor bildet sich eine zweite Eindellung (Maximum bei ~180 ms), die auf eine verringerte Anzahl beendeter Fixationen, bzw. auf eine stärkere Unterdrückung neuer Sakkaden, hinweist und welche somit den Effekt der Fixationsdauererlängerung widerspiegelt. In den Verteilungskurven der Distraktoren 2-4 lässt sich dieses Verhalten nicht aufzeigen. Ähnliche Muster, allerdings weniger deutlich ausgeprägt, waren auch in den Abbildungen der langsamen Habituation und des abweichenden Distraktors der visuellen Modalität zu finden.

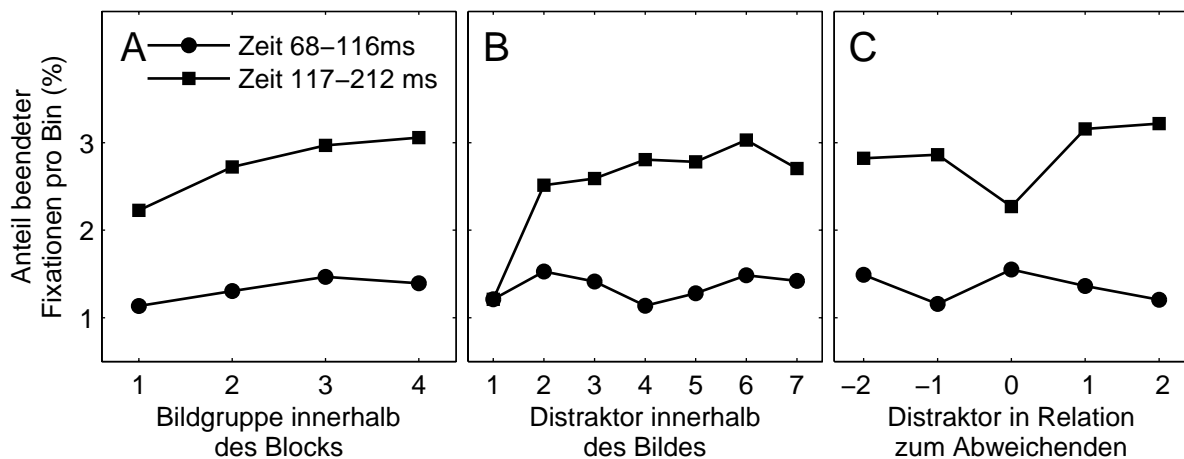


**Abbildung 3:** Häufigkeitsverteilung der Fixationsdauer nach Distraktor-Onset in Abhängigkeit der Distraktormodalität (visuell = links, akustisch = rechts) für langsame Habituation (A+B), schnelle Habituation (C+D) und den abweichenden Distraktor (E+F). Die Klassenbreite der Fixationsdauer-Verteilungen betrug 12 ms.

Bei akustischen Distraktoren war ein anderes Ergebnismuster zu erkennen. Die Eindellung in den Verteilungskurven im Vergleich zur Baseline war im Zeitfenster ab 70 ms deutlich geringer ausgeprägt (siehe Abbildung 3, rechte Seite), wobei der erste Distraktor innerhalb eines Bildes (siehe Abbildung 3D) die stärkste Abweichung von den anderen Distraktorbedingungen aufwies.

Wie aus der Darstellung hervorgeht, lag der Wirkung des Distraktors ein zeitlich komplexes Muster hemmender Einflüsse auf die Generierung neuer Sakkaden zugrunde. Aus den Daten kann die Annahme abgeleitet werden, dass die Habituationseffekte durch hemmende Prozesse in einem spezifischen Zeitfenster verursacht werden. Mit einer explorativen Analyse wurde deshalb untersucht, welchen Einfluss die zeitliche Abfolge der Distraktoren auf die relative Häufigkeit von Fixationen im Zeitfenster vor und nach der ersten charakteristischen Eindellung hat. Hierfür wurde die relative Häufigkeit beendeter Fixationen für ein Zeitfenster vor (68-116 ms) und nach (117-212 ms) der Eindellung berechnet. Durch Analyse dieses Indikators sollte getestet werden, ob die Fixationsverteilung global von der Habituation betroffen ist, oder ob sich der Einfluss zeitlich genauer verorten lässt. Da die erste Eindellung nur bei visuellen Distraktoren deutlich zu finden war, wurde diese Analyse nur für diese Modalität durchgeführt.

Für die langsame Habituation ergab die statistische Analyse keinen Effekt für den Abschnitt vor der ersten Eindellung,  $F \leq 1$ , (Kreise in Abbildung 4A), jedoch einen signifikanten Anstieg beendeter Fixationen für das Intervall nach der Eindellung (Quadrate in Abbildung 4A),  $F(3, 132) = 14.6, p < .001, \eta^2 = .25$ . Der post-hoc Test ergab, dass dieser Haupteffekt auf einem signifikanten Anstieg von Bildgruppe 1 zu Bildgruppe 2 innerhalb des Blocks zurückzuführen war. Wie bei den Analysen der Differenzwerte wurde Ermüdung als Kovariate in das varianzanalytische Modell mit einbezogen. Es zeigte sich auch hier keine signifikante Effekte und Interaktionen mit diesem Faktor. Für die Analyse der schnellen Habituation und des abweichenden Distraktors ergaben sich keine signifikanten Effekte für das Intervall vor der Eindellung,  $F \leq 1$  (Kreise in Abbildung 4B und C). Für das Intervall nach der Eindellung wurde ein signifikanter Effekt für die schnelle Habituation gefunden,  $F(6, 270) = 22.0, p < .001, \eta^2 = .33$ , der anhand von post-hoc Vergleichen auf einen Anstieg der Häufigkeit beendeter Fixationen vom ersten zum zweiten Distraktor zurückgeführt werden konnte. Die Darbietung des abweichenden Distraktors schließlich ging mit einer signifikanten Verringerung der relativen Häufigkeit beendeter Fixationen einher,  $F(4, 180) = 7.39, p < .001, \eta^2 = .14$ , (Quadrat in Abbildung 4 C). Wie bereits in der Analyse der Differenzwerte der Fixationsdauer ist dieser Haupteffekt ausschließlich auf Unterschiede zwischen abweichendem Distraktor und den jeweils vorhergehenden und nachfolgenden Distraktorfixationen zurückzuführen.

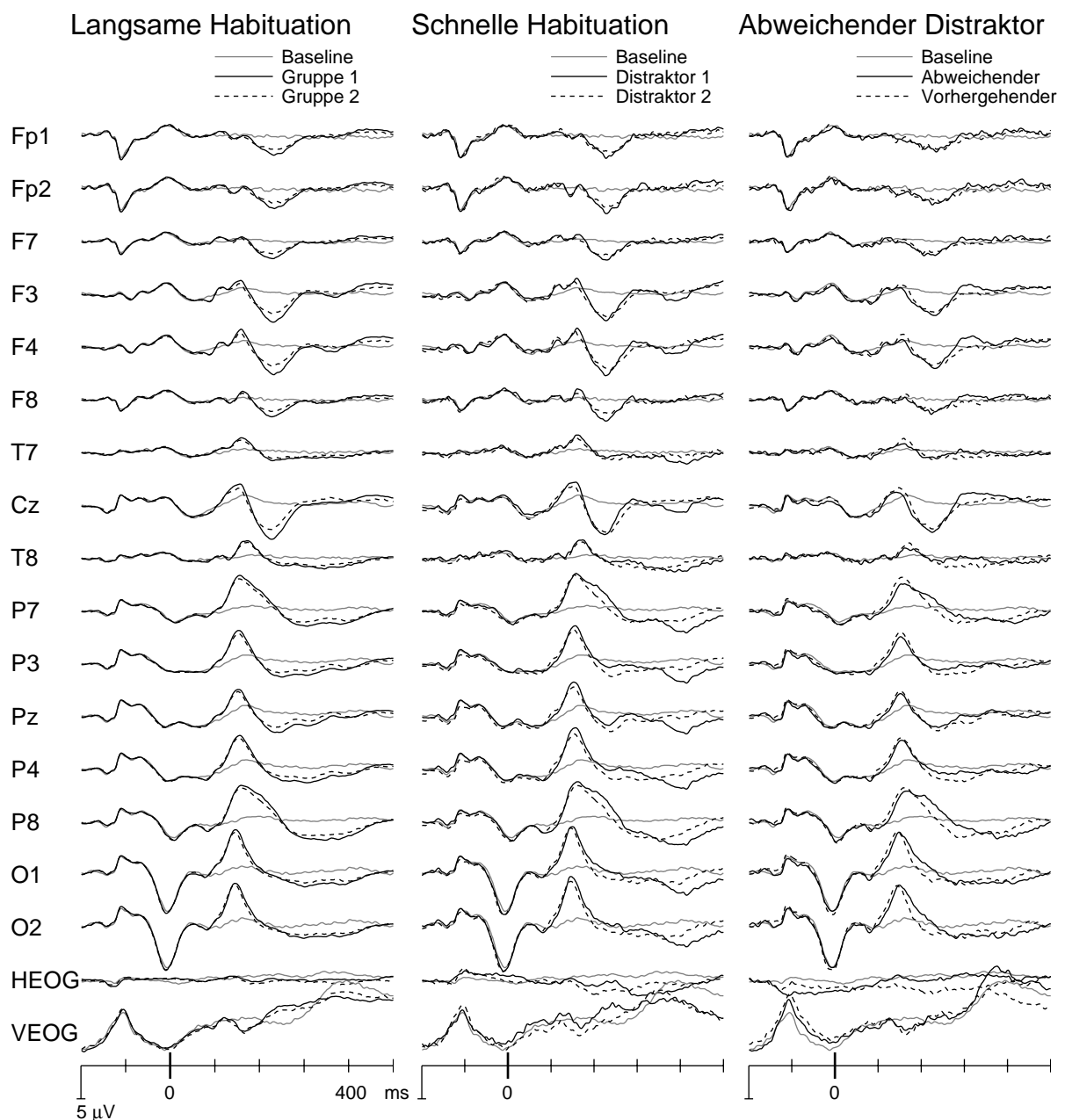


**Abbildung 4:** Relativer Anteil beendeter Fixationen für die Intervalle vor (68-116 ms) und nach (117-212 ms) der charakteristischen Eindellung in der Häufigkeitsverteilung für (A) die langsame und (B) die schnelle Habituation sowie (C) den abweichenden Distraktor der visuellen Modalität.

### EKP-Daten

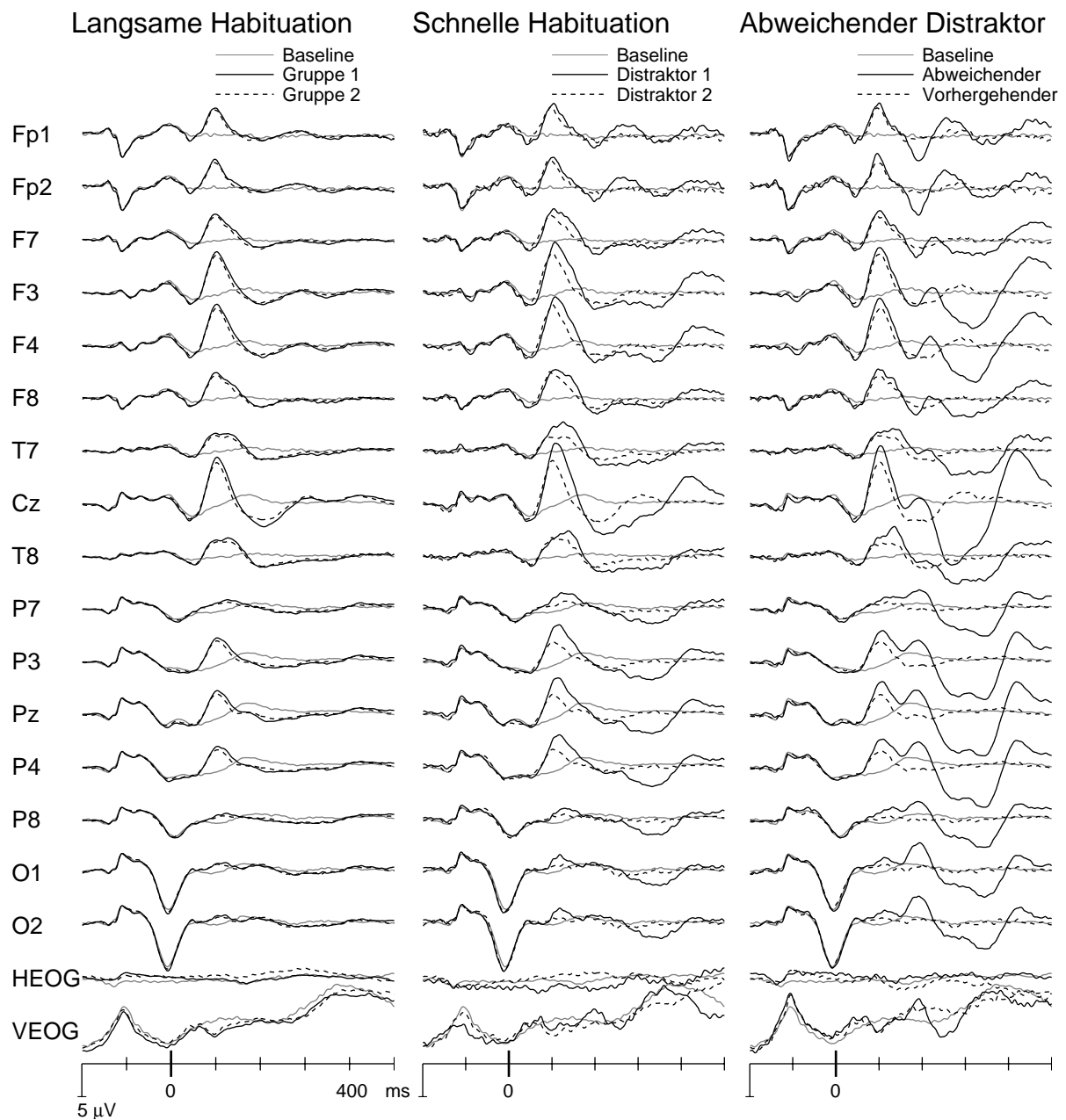
Die EKPs aller Elektrodenpositionen sind in Abbildung 5 (visuelle Distraktoren) und Abbildung 6 (akustische Distraktoren) dargestellt. In den Abbildungen der EKPs ist die Zeitachse auf den Beginn der Distraktordarbietung bezogen; die verschiedenen Habituationsbedingungen sind in den einzelnen Spalten abgetragen (links: langsame Habituation, mittig: schnelle Habituation, rechts: abweichender Distraktor). Für alle Ableitpositionen ist als Referenz das EKP einer Baseline dargestellt, welches aus den Fixationen der ND Bilder (d.h. distraktor-unbeeinflusster Fixationen) ermittelt wurde.

Da die Darbietung der Distraktoren mit einer konstanten Latenz von 100 ms nach Fixationsbeginn erfolgte, sind in den EKPs mehrere spezifische Merkmale fixationsbasierter Potentiale zu erkennen. Der Fixationsbeginn ist vor allem durch eine positive ausgeprägte Komponente über frontalen Ableitpositionen und ein negatives Aktivitätsmuster über parietal-okzipitalen Ableitorten gekennzeichnet. Dieses steht vermutlich mit dem Ende der vorherigen Sakkade im Zusammenhang (Kazai & Yagi, 2003). Etwa 90 ms nach Fixationsbeginn zeigte sich eine positive Komponente über okzipitalen Ableitpositionen. Dabei handelt es sich um die sogenannte Lambda-Antwort (Billings, 1989; Fourment, Calvet & Bancaud, 1976; Skrandies & Laschke, 1997). Diese stellt vermutlich ein Korrelat der Augenbewegung im okzipitalen Kortex dar, wobei deren Ursprung und Funktion bisher nicht endgültig geklärt sind.



**Abbildung 5:** Gemittelte EKPs (N=43) des visuellen Distraktors für langsame (links) und schnelle Habituation (mittig) und den abweichenden Distraktor (rechts). Die Distraktordarbietung erfolgte zum Zeitpunkt „0“ auf der Zeitachse, der Fixationsbeginn lag bei -100 ms.

Im anschließenden Zeitfenster kann man im Vergleich zur Baseline in allen Bedingungen eine deutliche N1 Komponente erkennen. Für visuelle Distraktoren liegt das Maximum dieser Komponente bei  $\sim 150$  ms nach Distraktoronsset, in der auditiven Modalität bei  $\sim 100$  ms. Dem folgt eine Positivierung (P2 Komponente), die hauptsächlich an zentralen und frontalen Ableitpositionen zu finden ist. Das Maximum der Komponente ist für visuelle Distraktoren bei  $\sim 240$  ms und für auditive bei  $\sim 200$  ms zu erkennen (jedoch beim abweichenden Distraktor zeitiger bei  $\sim 170$  ms).



**Abbildung 6:** Gemittelte EKPs (N=41) des auditiven Distraktors für langsame (links) und schnelle Habituation (Mitte) und den abweichenden Distraktor (rechts). Die Distraktordarbietung erfolgte zum Zeitpunkt „0“ auf der Zeitachse, der Fixationsbeginn lag bei -100 ms.

Ein zweite Negativierung (N2) ist hauptsächlich beim abweichenden Distraktor zu finden und hat eine deutlich stärkere Ausprägung in der akustischen Modalität. Eine späte P3 Komponente findet sich im anschließenden Zeitfenster. Für visuelle Distraktoren erreicht sie ihr Maximum zwischen 250-450 ms und ist vor allem über okzipitalen und parietal-temporalen Gebieten zu finden. Bei auditiven Distraktoren findet man sie im Zeitfenster zwischen 250-350 ms, deutlich sichtbar vor allem beim ersten Distraktor innerhalb eines Bildes und beim abweichenden Distraktor. In diesen beiden Bedingungen findet sich außerdem eine späte Negativierung, die ihren Höhepunkt bei ca. 400 ms über der Cz-Position

erreicht und welche vermutlich die sogenannte *reorienting negativity* (Schröger & Wolff, 1998) widerspiegelt.

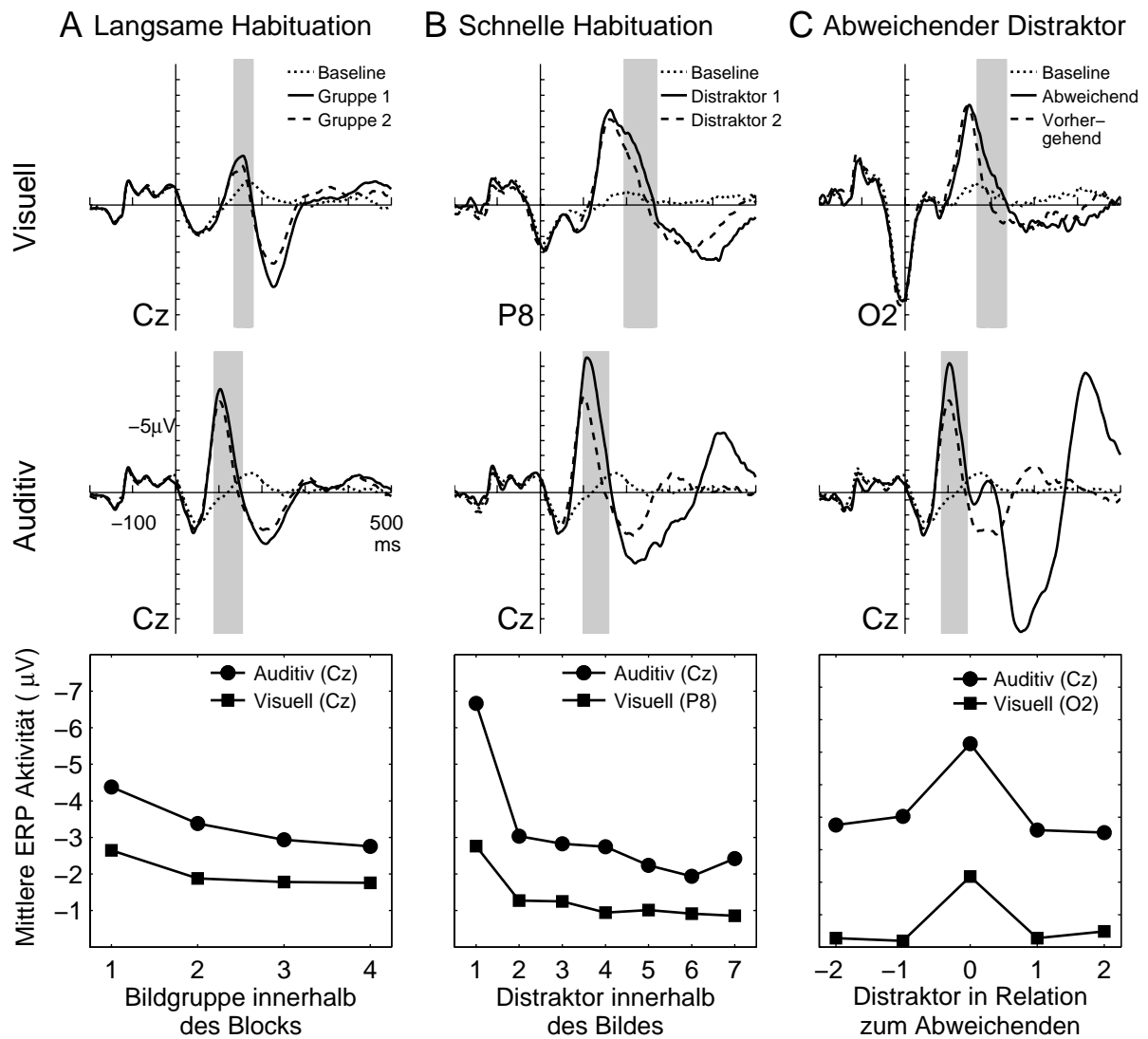
Bei den folgenden Analysen standen vor allem frühe Abweichungen des EKPs im Zeitbereich der N1 im Vordergrund. Diese Herangehensweise ergab sich aus der Überlegung, dass der Einfluss eines Distraktors in den Häufigkeitsdiagrammen der Fixationsdauer bereits 70 ms nach seiner Präsentation nachweisbar war (vgl. Abbildung 3). Verarbeitungsmechanismen die mit späten kortikalen Komponenten wie der P3 oder N2 verknüpft sind, können daher nur bedingt in einen kausalen Zusammenhang zu den Prozessen der sakkadischen Hemmung gebracht werden. Darüber hinaus sind späte EEG-Komponenten in stärkerem Maße durch die Auswirkungen der nachfolgenden Sakkade auf das EEG beeinflusst bzw. werden durch diese überlagert.

Um langsame Habituationseffekte in frühen Komponenten der EKPs zu untersuchen, wurden die EKPs von Bildgruppe 1 und 2 mit der von Blair und Karniski (1993) vorgeschlagenen Methode verglichen. Mit diesem Verfahren ist es möglich zu bestimmen, in welchem Zeitfenster sich zwei EKP-Kurven signifikant voneinander unterscheiden. Die Berechnungen erfolgten für jede Elektrodenposition einzeln. Danach wurde die Elektrodenposition gesucht, welche die früheste substantielle<sup>3</sup> Abweichung zwischen den Kurven aufwies. Für diese Elektrodenposition wurde dann die mittlere EKP-Aktivität innerhalb des gefundenen Intervalls für alle vier Bildgruppen-EKPs berechnet und mittels ANOVA für Messwiederholung statistisch analysiert.

Hinsichtlich langsamer Habituation zeigten sich die frühesten Abweichungen in beiden Modalitäten über Cz im Zeitbereich der N1 Komponente; für visuelle Distraktoren in einem Intervall von 140-175 ms und für auditive im Intervall von 94-150 ms nach Distraktor-Onset (siehe Abbildung 7A oberer und mittlerer Teil). Die statistische Auswertung ergab eine signifikante Abnahme der EKP-Aktivität für beide Modalitäten (siehe Abbildung 7A unterer Teil): visuell,  $F(3, 126) = 13.3$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .24$ , akustisch,  $F(3, 120) = 39.9$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .50$ . Wie in den vorherigen Analysen wurde keine signifikante Interaktion mit der Kovariate Ermüdung gefunden,  $F \leq 1$ . Post-hoc Vergleiche zeigten, dass der Effekt bei visuellen Distraktoren auf einer signifikanten Abnahme von Bildgruppe 1 zu 2 beruht und bei auditiven Distraktoren durch ein Abnahme von Bildgruppe 1 zu 3 verursacht wird.

---

<sup>3</sup> d.h. eine signifikante Abweichung die über eine Dauer von > 3 Datenpunkte (bei einer Abtastrate von 250Hz entspricht dies einem Intervall von 12 ms) andauerte



**Abbildung 7:** Gemitteltetes EKP der Elektrodenposition für welches die früheste signifikante Abweichung gefunden wurde. Dargestellt sind die Ergebnisse der Analyse der langsamen Habituation (A), der schnellen Habituation (B) und des abweichenden Distraktors (C) für beide Modalitäten. Im oberen Teil der Abbildung sind die Ergebnisse der visuellen Distraktoren und im mittleren Teil die der akustischen Distraktoren dargestellt. Die Intervalle der ersten signifikanten Abweichung sind grau gekennzeichnet. Im unteren Abschnitt ist die mittlere EKP-Aktivität des jeweiligen Testintervalls für beide Modalitäten abgebildet.

Für die schnelle Habituation wurden zunächst die EKPs der Distraktoren 1 und 2 innerhalb eines Bildes verglichen. Wie zu erwarten zeigten sich modalitätsspezifische Abweichungen der Elektrodenpositionen. Für visuelle Distraktoren wurde die früheste Abweichung über P8 in einem Zeitfenster von 199-265 ms gefunden, bei akustischen Distraktoren zeigt sie sich über Cz innerhalb eines Intervalls von 105-154 ms (siehe Abbildung 7B oberer und mittlerer Teil). In beiden Fällen war eine Abnahme der Negativierung von Distraktor 1 zu 2 zu verzeichnen. Die varianzanalytische Auswertung ergab einen signifikanten Effekt sowohl für visuelle,  $F(6, 252) = 18.8, p < .001, \eta^2 = .31$ , als auch auditive Distraktoren,  $F(6, 240) = 44.3$ ,



$p < .001$ ,  $\eta^2 = .53$  (siehe Abbildung 7B unterer Teil). Die post-hoc Vergleiche zeigten, dass der Effekt ausschließlich auf einer signifikanten Abnahme von Distraktor 1 zu 2 beruht, und zwar in beiden Modalitäten.

Für die Analyse des abweichenden Distraktors wurde dessen EKP mit dem des unmittelbar vorhergehenden Distraktors verglichen. Für die visuelle Modalität wurde die früheste Abweichung über O2 in einem Intervall von 172-231 ms gefunden, bei auditiven Distraktoren ergab sich die Abweichung über Cz innerhalb des Zeitfensters von 89-140 ms (siehe Abbildung 7C oberer und mittlerer Teil). In beiden Modalitäten war ein Anstieg der Negativierung durch Darbietung des abweichenden Distraktors zu verzeichnen. Die statistische Analyse ergab signifikante Effekte für beide Modalitäten: visuell,  $F(4, 168) = 15.8$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .26$  und akustisch,  $F(4, 160) = 24.37$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .36$  (siehe Abbildung 7C unterer Teil). Ähnlich wie die Auswertung der Fixationsdauer ergaben die post-hoc Analysen signifikante Unterschiede zwischen dem abweichenden Distraktor und allen anderen (vorherigen und nachfolgenden) Distraktoren, jedoch keine Unterschiede zwischen vorherigem und nachfolgendem Distraktor.

### Zusammenhang von Blickbewegungen und EKP-Daten

In einem letzten Schritt der Auswertung wurde mittels Korrelationsanalysen untersucht, ob zwischen den Habituationseffekten des Distraktoreffekts im Blickverhalten und denen der EKP-Komponenten Zusammenhänge bestehen. Hierfür wurden Unterschiedswerte berechnet, welche die Veränderung in Blickverhalten und EKPs von Bildgruppe 1 zu Bildgruppe 2 innerhalb eines Blocks, zwischen Distraktor 1 und 2 innerhalb eines Bildes und zwischen dem abweichenden und dem vorherigen Distraktor abbilden. Die Indikatoren der Blickdaten wurden aus den Häufigkeitswerten der Fixationsdauer-Verteilungen ermittelt. Bei visuellen Distraktoren wurden die Werte der relativen Häufigkeit beendeter Fixationen im Zeitfenster 117-212 ms nach Distraktor-Onset verwendet; bei akustischen Distraktoren im Zeitfenster von 69-164 ms. Dies entspricht jeweils den Zeitbereichen, für welchen in den Fixationsdauer-Verteilungen die deutlichste Modulation durch Habituationseffekte gefunden wurde. Die Unterschiedswerte der EKP-Daten wurden aus den Werten der mittleren EKP-Aktivität berechnet, welche in der varianzanalytischen Auswertung der EKP-Daten verwendet wurden. In den Korrelationsanalysen zeigte sich nur für die langsame Habituation der visuellen Modalität ein signifikanter Zusammenhang,  $r = .338$ ,  $p < .05$ , d.h. eine stärkere Abnahme der N1 (140-175 ms) über Cz infolge Habituation ging mit einem größeren Unterschied im Anteil beendeter Fixationen im Zeitfenster von 117-212 ms nach Distraktor-Onset einher, d.h. einer stärkeren Abnahme der sakkadischen Hemmung.

#### 5.4.4 Diskussion

Im Rahmen der hier dargestellten Studie wurde untersucht, ob die Verlängerung der Fixationsdauer, ausgelöst durch die Darbietung plötzlicher Veränderungen (Distraktoren), im Rahmen des Konzepts der OR, bzw. einer Reaktion auf Neuheit, verstanden und interpretiert werden kann. Dieser Frage wurde durch die Untersuchung von Habituationseffekten nachgegangen. Signifikante Ergebnisse konnten sowohl für die langsame Habituation, d.h. die Abnahme des Effekts über mehrere Bilder des experimentellen Blocks hinweg, die schnelle Habituation, als Reaktion auf eine wiederholte Darbietung des Distraktors innerhalb eines Bildes, und für die Antworterholung bei Darbietung eines abweichenden Distraktors erzielt werden. Darüber hinaus war der Effekt der langsamen Habituation nicht vom Anstieg der Müdigkeit über die Zeitdauer der experimentellen Session beeinflusst. Damit lassen sich andere alternative Erklärungskonzepte wie Ermüdung, Vigilanz oder Erregung (vgl. auch Loveless, 1983; Näätänen & Picton, 1987; Parasuraman, Warm & See, 2000) für die Abnahme der Effekte in Blickbewegungen und EEG ausschließen. Die Untermauerung früherer Befunde zur Multimodalität des Distraktoreffekts (vgl. Pannasch, et al., 2001) war ein weiteres Ziel der Studie. Es zeigte sich erneut, dass auch auditive Distraktoren zu einer reliablen Verlängerung der Fixationsdauer führen. Neben einem deutlich geringeren Ausmaß sakkadischer Hemmung im Vergleich zur visuellen Modalität war der Effekt zudem durch verschiedene qualitative Unterschiede gekennzeichnet, auf die im weiteren Verlauf der Diskussion noch einmal näher eingegangen werden soll.

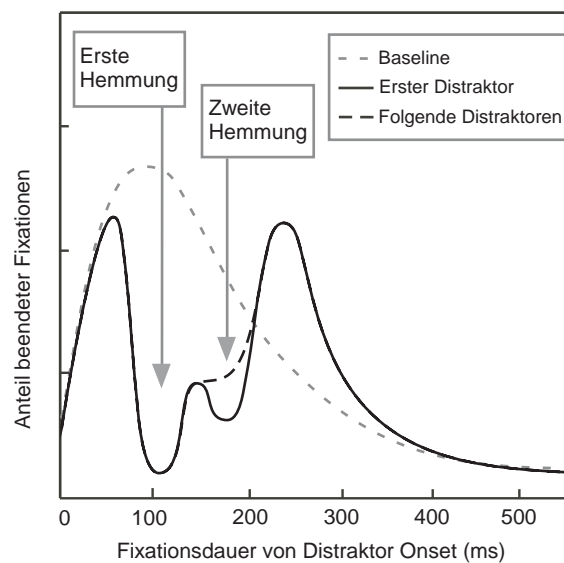
Die Vermutung zur langsamen Habituation des Distraktoreffekts konnte nur für die visuelle Modalität bestätigt werden. Für auditive Distraktoren war kein Abfall der Fixationsdauer-Verlängerung zu finden, was möglicherweise eine Folge des generell geringeren Effektniveaus sein könnte. Im Gegensatz dazu zeigten sich in den EKP-Daten beider Modalitäten klare Muster einer langsamen N1 Habituation. Letzteres steht im Einklang mit früheren Befunden (Laurian & Gaillard, 1976; Loveless, 1983; Näätänen & Picton, 1987; Sambeth, et al., 2004; Woods & Elmasian, 1986), die dafür sprechen, dass es sich bei der Abnahme der N1 über einen längeren Zeitraum hinweg um einen eigenständigen Habituationsmechanismus handeln könnte. Da die Abnahme in beiden Modalitäten über den gleichen Ableitpositionen zu finden war, spiegelt diese vermutlich einen modalitäts-unspezifischen Prozess wider (Lehtonen, 1973; Näätänen & Picton, 1987).

In Bezug auf schnelle Habituationseffekte zeigte die Analyse der Blickbewegungen eine Abnahme des Distraktoreffekts in beiden Modalitäten. Diese war durch einen rapiden Abfall vom ersten zum zweiten Distraktor innerhalb eines Bildes gekennzeichnet. Ein vergleichbares Muster konnte auch in den EKP-Daten nachgewiesen werden, was sich mit den Befunden anderer Studien zur schnellen Habituation visuell und akustische evozierter N1 Komponenten deckt (Bruin, et al., 2000; Kenemans, et al., 1989; Näätänen & Picton, 1987; Ritter, et al., 1968; Verbaten, et al., 1986; Wastell & Kleinman, 1980).

Auch die Annahmen zur Wirkung eines abweichenden Distraktors in einer Reihe von Standards konnte bestätigt werden. In beiden Modalitäten führte dies zu einer Wiederanstieg (*response recovery*) der Fixationsdauererlängerung. Vergleichbare Effekte waren auch in den EKP-Daten zu finden. Im EKP visueller Distraktoren tritt die Modulation der N1 jedoch relativ spät auf, sodass man diese Abweichung auch im Sinne der sogenannten Miss-Match-Negativity interpretieren könnte – d.h. einer stärkeren Negativierung im Zeitfenster nach der N1, die ebenfalls mit der Wahrnehmung von Stimulusveränderungen assoziiert wird (Pazo-Alvarez, Cadaveira & Amenedo, 2003). Gemäß der Überlegungen von Thompson und Spencer (1966) muss die Darbietung eines abweichenden Distraktors zu einer nachfolgenden *dishabituation* führen, d.h. einem Wiederanstieg der Reaktion auf den Standard. Weder in den Blickdaten noch in den EKPs konnte ein solches Muster gefunden werden. Ein Blick auf die Befundlage in der Literatur ergibt jedoch, dass dies im Einklang mit den Ergebnissen anderer Studien zu Habituationseffekten bei EKP-Komponenten steht. Insbesondere für die N1 konnten bisher lediglich die Annahmen zur *response recovery* nicht jedoch zur *dishabituation* bestätigt werden (Barry, et al., 1992; Budd, et al., 1998; Loveless, 1983; Ritter, et al., 1968; Woods & Elmasian, 1986). Manche Autoren vermuteten sogar, dass ein solches Reaktionsmuster in frühen kortikalen Komponenten nicht nachweisbar sei (vgl. Näätänen & Picton, 1987). Lediglich für den psychophysiologischen Parameter der Hautleitfähigkeitsreaktion (Barry, 2006), für die P3 Komponente (Rushby, et al., 2005) sowie für einfache motorische Reflexe (siehe Thompson & Spencer, 1966) konnten bisher Dishabituationsprozesse bestätigt werden. Im Kontext dieser Befunde, lässt sich daher die schnelle Abnahme des Effekts (in Fixationsdauererlängerung und N1-Amplitude) über eine Sequenz von Distraktorreizen sowie das Vorhandensein einer *response recovery* bei Auftauchen eines abweichenden Distraktors als Habituationseffekt auslegen. Die Ergebnisse bestätigen damit die Vermutung, dass die distraktorinduzierte Verlängerung der Fixationsdauer auch im breiteren Rahmen der OR, d.h. im Sinne einer schnellen Reaktion auf Neuheit oder unerwartete Änderung, interpretiert werden kann.

Ein wesentliches Ziel der Studie lag darin, zu klären, welcher der beiden Erklärungsansätze zum Distraktoreffekts, d.h. entweder als okulomotorischer Reflex (Reingold & Stampe, 2000) der im SC ausgelöst wird oder als frühe Komponente der OR (Pannasch, et al., 2001), besser geeignet ist, die Veränderungen im Blickverhalten bei Auftreten eines Distraktors zu beschreiben. Eine genauere Analyse der Ergebnisse erlaubt den Schluss, dass beide Ansätze richtig sein könnten. Um dies zu illustrieren, wurden die Daten zur schnellen Habituation bei visuellen Distraktoren (vgl. Abbildung 3C) in einer vereinfachten, leicht idealisierten Form dargestellt. Abbildung 8 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Fixationsdauer für visuelle Distraktoren, wie sie sich aus den Ergebnissen der aktuellen Untersuchung ableiten lassen. In der Verteilung distraktorbeeinflusster Fixationen sind zwei Abweichungen bzw. Eindellungen zu erkennen. Die erste mit einer Latenz von ~110 ms steht im Einklang mit Befunden früherer Studien (Pannasch, et al., 2001; Reingold & Stampe, 2000). In Abbildung 8 ist sie durch den

Begriff „erste Hemmung“ gekennzeichnet und lässt sich, da sie keinerlei Modulation aufweist, inhaltlich am besten mit der Idee eines okulomotorischen Reflexes beschreiben. Eine weitere Eindellung erscheint mit einer Latenz von  $\sim 180$  ms nach Distraktor-Onset und ist als „zweite Hemmung“ bezeichnet. Nur die Aktivität dieses zweiten Hemmungsmechanismus spiegelt die in dieser Studie aufgedeckten Habituationseffekte wider. Bei auditiven Distraktoren war der Effekt der ersten Hemmung deutlich geringer ausgeprägt. Wie für visuelle Distraktoren lässt sich aber auch hier eine durch die Neuheit des Distraktors beeinflusste Phase sakkadischer Hemmung finden. Zeitlich tritt diese  $\sim 70$  ms eher auf, wobei eine deutliche Modulation nur innerhalb des Bildes, als Folge der schnellen Habituation und des abweichenden Distraktors, erkennbar war.



**Abbildung 8: Vereinfachtes Modell hemmender Mechanismen als Grundlage des visuellen Distraktoreffekts. Während die erste Phase hemmender Aktivität unabhängig von der Neuheit des Distraktors war, variierte die Aktivität der zweiten Phase als Funktion der wiederholten Distraktordarbietung, wobei die deutlichste Ausprägung der Hemmung für den ersten Distraktor einer Sequenz zu finden war.**

Für die weitere Interpretation der Ergebnisse ist es notwendig den Zusammenhang zwischen Habituationseffekten in Blickdaten und den EKPs näher zu betrachten. Nur im Fall der langsamen Habituation der visuellen Modalität konnte eine signifikante Korrelation zwischen beiden Parametern festgestellt werden. Es ist erwähnenswert, dass nur in dieser Bedingung eine starke zeitliche Überlappung zwischen der Abweichung im EKP und der „zweiten Phase der Hemmung sakkadischer Aktivität“ (i.S. von Abbildung 8) bestand. In den beiden anderen Fällen (schnelle Habituation und abweichender Distraktor) kam es zu einer Modulation im Blickverhalten, die zeitlich noch vor den frühesten Anzeichen einer Veränderung im EKP (d.h. im Bereich der N1) sichtbar wurde. Um die Mechanismen der schnellen Habituation im Blickverhalten beeinflussen zu können, kommen daher nur Verarbeitungsprozesse in

---

Betracht, die relativ unabhängig von rein kortikaler Verarbeitung operieren und schnell genug sind, dieser vorauszugehen.

Eine diesbezüglich interessante Sichtweise stellen die Ideen zur Existenz eines subkortikalen Pfads der visuellen Informationsverarbeitung dar (Dolan, 2002; Doron & LeDoux, 1999; Linke, De Lima, Schwegler & Pape, 1999; Öhman, 2002; Pessoa, 2005). Dieser, auch als *low road* (LeDoux, 1996) bezeichnete Verarbeitungspfad, ermöglicht eine schnelle Bewertung visueller Information, auf Basis von vor allem niedrig-frequenten Anteilen im Signal des visuellen Inputs (Vuilleumier, Armony, Driver & Dolan, 2003). Die Amygdala stellt einen wesentlichen Bestandteil dieses subkortikalen Netzwerks dar (LeDoux, 1996). Funktionell wird sie insbesondere mit der Evaluation emotionaler Bedeutung eines Reizes in Zusammenhang gebracht. Darüber hinaus ist sie an der Vorbereitung angemessener Verhaltensreaktion wie Flucht-, *Freezing*- oder Angriffsverhalten beteiligt (Panksepp, 1998). Auch die Verarbeitung von Neuheit wurde mit der Amygdala in Verbindung gebracht worden (Blackford, et al., 2010; Rolls, 1999; Wilson & Rolls, 1993; Wright, et al., 2003). Man kann daher vermuten, dass Distraktoren über diesen subkortikalen Weg parallel und vorseilend zur kortikalen Verarbeitung analysiert werden können. Da die Amygdala Projektionen zu fast allen anderen Bereichen des Hirns aufweist (Sah, Faber, Lopez De Armentia & Power, 2003), ist auch eine direkte oder indirekte Steuerung von Verhalten vorstellbar. Dies wiederum könnte die relativ schnelle Art der Beeinflussung unseres Blickverhaltens erklären.

Die Aufteilung des Distraktoreffekts in eine reflexhafte und eine modulierbare Komponente ist aus funktioneller Perspektive durchaus sinnvoll. Der erste Prozess ermöglicht eine reflexive Unterdrückung neuer Blicksprünge und verhindert somit, dass relevante Veränderungen innerhalb der sakkadischen Suppression einer folgenden Sakkade untergehen. Innerhalb des Zeitfensters dieser ersten Hemmung kann ein Reiz entlang des subkortikalen Pfads hinsichtlich seiner emotionalen Relevanz bewertet werden. Wird eine solche Relevanz entdeckt, z.B. weil der Reiz sich als neu oder abweichend erweist, erfolgt eine weitere Hemmung von Sakkaden. Damit steht mehr Zeit für eine genauere Analyse in höheren Hirnregionen zu Verfügung.

Ein vergleichbarer subkortikaler Pfad wurde auch für die Verarbeitung akustischer Informationen postuliert (Campeau & Davis, 1995; Doron & LeDoux, 1999). Die hier dargestellten Befunde zur schnellen Habituation und zum abweichenden Distraktor der akustischen Modalität lassen sich als Manifestation der Verarbeitung entlang eines solchen subkortikalen Netzwerkes verstehen. Die in den Fixationsdauerverteilungen zu sehende zeitliche Verschiebung der neuheitsmodulierten Phase sakkadischer Hemmung, kann mit einer allgemein schnelleren Verarbeitung akustischer Informationen erklärt werden (deutlich sichtbar u.a. in Latenzunterschieden visueller und akustischer evozierter N1 Komponenten). Ein weiterer zeitlicher Vorteil könnte durch anatomische Nähe des akustischen Verarbeitungswegs zur Amygdala begründet sein. Durch eine genauere zeitliche Analyse des Distraktoreffekts und

den Vergleich verschiedener Modalitäten, z.B. bei haptischer Stimulation, lassen sich möglicherweise neu Erkenntnisse zu diesen Annahmen erzielen.

Die hier dargestellte Idee suggeriert in Ansätzen den Wirkmechanismus des von Sokolov (1963) postulierten *comparator* Systems, bei dem eingehende Reize mit bereits vorhandenen mentalen Repräsentationen verglichen werden. Im Kontext der oben dargelegten Überlegungen müsste dieser Mechanismus zumindest teilweise eine Funktion des subkortikalen Verarbeitungsnetzwerkes sein und damit der Wirkungsweise der Amygdala zugeordnet werden. Obwohl an dieser Stelle über wesentliche Aspekte dieser schnellen Distraktorverarbeitung nur spekuliert werden kann, ergeben sich hieraus verschiedene neue Ansätze für die weitere experimentelle Analyse des Effekts und möglicher Einflussfaktoren.

Zusammengenommen zeigten sich sowohl in den Daten der Blickbewegungen als auch der N1 Komponente verschiedene habituationsartige Mechanismen. Insbesondere die Habituation des visuellen Distraktoreffekts im Blickverhalten kann dabei auf hemmende Prozesse zurückgeführt werden, die zeitlich (Latenz von 180 ms) und funktionell von einer reflexartigen Phase sakkadischer Hemmung (mit einem Maximum bei 110 ms nach Distraktor-onset) abgrenzbar sind. Eine solche Unterscheidung zweier dissoziierbarer Komponenten im Distraktoreffekt wurde bisher in der Literatur nicht berichtet. Alternative Erklärungsansätze bezüglich des Distraktoreffekts, entweder als ein auf Ebene des Mittelhirns gesteuerter okulomotorischer Reflex (Reingold & Stampe, 1999, 2000) oder als Manifestation der OR (Pannasch, et al., 2001) lassen sich speziell mit einer der beiden Phasen oder Komponenten hemmender Aktivität in Einklang bringen. Trotz dieses neuen Verständnisses, bleiben grundlegende Mechanismen, die den Prozessen der Hemmung von Sakkaden zugrunde liegen, weiter unklar. Eine aus den aktuellen Ergebnissen abgeleitete Vermutung besteht darin, dass insbesondere die schnelle Habituation durch Informationsverarbeitungsprozesse entlang der subkortikalen *low road*, die auch limbische Strukturen, wie die der Amygdala, einschließt, vermittelt sein könnte. Darüber hinaus lässt sich in der Literatur jedoch zunehmende Evidenz finden, dass die Verarbeitung von Stimuluseigenschaften wie Neuheit und Veränderung mehr oder weniger zur Aktivierung von Regionen des gesamten Gehirns führt. Die zwei unterscheidbaren Komponenten des visuellen Distraktoreffekts können als früheste Ausprägungen dieses wichtigen biologischen Mechanismus im Verhalten betrachtet werden.

## 5.5 Habituation bei akustischen und haptischen Distraktoren: Studie 2

### 5.5.1 Einführung

In Studie 1 konnten die Befunde zur multimodalen Natur des Distraktoreffekts (vgl. Pannasch, et al., 2001) erneut für akustische Reiz nachgewiesen werden. Andere Autoren haben gezeigt, dass auch somatosensorische Distraktoren zu einer kleinen, aber signifikanten Verlängerung der SRT in einfachen Fixieren-Springen-Paradigmen führen können (Amlot, et al., 2003). Dies steht im Einklang mit neurophysiologischen Befunden, die belegen, dass neben der visuellen auch andere sensorische Modalitäten direkte afferente Projektion zum SC aufweisen (vgl. Sparks & Hartwich-Young, 1989; Wallace, et al., 1996). In der somatosensorischen Modalität liefern die Hinterstrangkernkerne, die Rückenmarkskerne des Nervus Trigerminus und das Hinterhorn des Rückenmarks die Hauptquellen des Inputs zum SC. Zielgebiet der Projektionen sind die tiefen Schichten (*deep layer*) des SC (siehe auch Sparks & Hartwich-Young, 1989). Die Neuronen in diesem Teil des SCs sind wesentlich für reflexartige Ausrichtung der Augen, des Oberkörpers und des Kopfes hin zu somatosensorischen Reizen. Funktionell ähnliche Verbindungen sind auch für die akustische Modalität beschrieben worden, wobei die Informationsweiterleitung vor allem über den Inferioren Colliculus (IC – eine dem SC anatomisch benachbarte Struktur des auditiven System) zu den tiefen Schichten des SC erfolgt (Sparks & Hartwich-Young, 1989).

Bisher gibt es jedoch nur wenige Befunde zum Einfluss somatosensorischer Distraktoren auf Blickbewegung bei freier Bildbetrachtung (Pannasch & Velichkovsky, 2009). In der folgenden Studie sollte die Wirkung haptischer und akustischer Distraktoren genauer untersucht werden. Wie sich in Experiment 1 zeigte, wird die Fixationsdauererlängerung entscheidend durch Habituationsprozesse moduliert. Ein besseres Verständnis der zugrunde liegenden Mechanismen der Habituation sollte durch eine dezidierte Analyse der zeitlichen Dynamik der sakkadischen Hemmung erreicht werden. Um dies zu ermöglichen, musste das experimentelle Paradigma angepasst werden. Im Vergleich zu Studie 1 wurde die Menge der betrachteten Bilder erhöht und die Anzahl der Distraktoren pro Bild verringert. Insgesamt ergab sich daraus eine höhere Anzahl von Fällen pro Proband und Bedingung, die für die Analyse der schnellen Habituation und der Fixationsdauererlängerungen notwendig waren.

Wie in Studie 1 wurde ein kleiner aber deutlicher Effekt der Fixationsdauererlängerung bei auditiven Distraktoren erwartet. Für haptische Distraktoren wird aufgrund früherer Befunde (Amlot, et al., 2003; Pannasch & Velichkovsky, 2009) von einer vergleichbaren Modulation ausgegangen. In Studie 1 zeigten sich außerdem vergleichbare Muster (Stärke und Art der Abnahme des Distraktoreffekts) der schnellen Habituation für visuelle und auditive Modalität. Wenn diese Habituationseffekte tatsächlich durch funktionell ähnliche Mechanismen (wie

der OR) vermittelt werden, dann kann man für haptische Distraktoren äquivalente Ergebnisse postulieren. Das Ausbleiben einer langsamen Habituation für akustische Distraktoren in Studie 1 spricht zudem gegen eine Abnahme des Distraktoreffekts über die Dauer des Experiments.

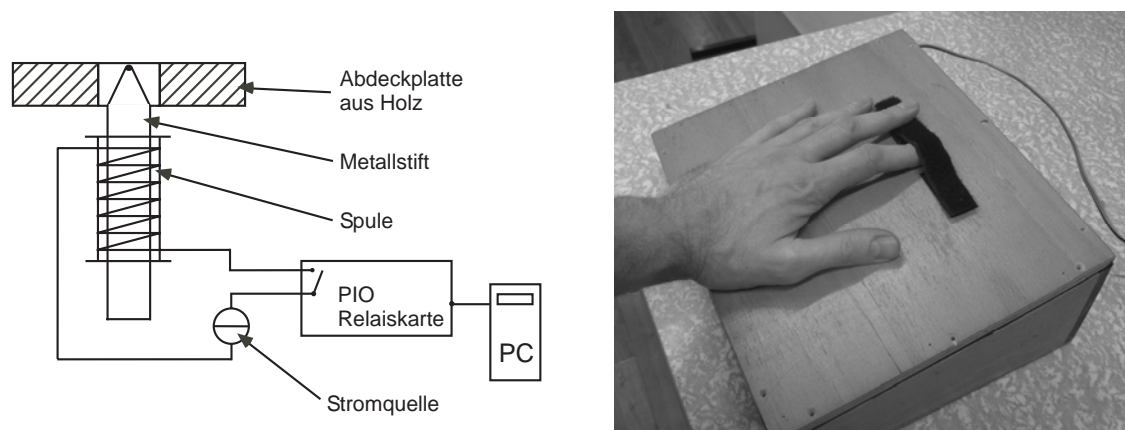
## 5.5.2 Methoden

### Stichprobe

An der Studie nahmen 20 gesunde Studenten (9 männlich) der TU Dresden im Alter von 20 und 25 Jahren ( $M = 24.5$ ,  $SD = 1.7$ ) teil. Alle Teilnehmer verfügten über normales oder mittels Brille korrigiertes Sehvermögen und berichteten über keine Beeinträchtigungen des Hör- und Berührungsempfinden.

### Aufbau und Geräte

Für die Untersuchung kam der in Kapitel 4.2 dargestellte Systemaufbau zu Verwendung. Als Blickbewegungsmesssystem wurde das Eyelink 1000 System verwendet. Die Messung erfolgte beidäugig mit einer Abtastrate von 500 Hz. Während der Aufzeichnung ruhte der Kopf des Probanden auf einer Kinnstütze. Die auditiven Distraktorreize wurden mit einer Standard PC Soundkarte generiert und auf beiden Ohren über Minikopfhörer dargeboten. Die Darbietung haptischer Distraktoren erfolgte über ein speziell angefertigtes Stimulationsgerät, das vom Präsentationsrechner aus über eine digitale I/O-Karte (PIO24II, BMC Messsysteme GmbH) und eine damit verbundene Relaiskarte gesteuert wurde. Der schematische Aufbau dieses Systems ist in Abbildung 9 dargestellt. Die Stimulation erfolgte durch Bewegung eines Metallstifts. Diese wurde durch Induktion eines Magnetfelds in einer den Stift umgebenden Spule ausgelöst.



**Abbildung 9:** Darstellung des haptischen Stimulationsgeräts. Links ist der schematische Aufbau des Geräts sichtbar, rechts eine fotografische Abbildung.



### Stimulusmaterial

Das Stimulusmaterial der Bildbetrachtungsaufgabe bestand aus 140 Abbildungen von Gemälden (vgl. Kapitel 4.1). Im Gegensatz zu Studie 1 wurden die Bilder farbig dargestellt. Akustische Distraktoren waren sinusförmige 1500 Hz Töne mit einer Lautstärke von 70 dB und einer Dauer von 80 ms bei einer Anstiegs- und Abfallzeit von 5 ms. Die haptische Stimulation erfolgte durch einen stumpfen Metallstift, der für eine Zeitdauer von 80 ms gegen den linken Zeigefinger gedrückt wurde. Diese Stimulation war vom Probanden deutlich wahrnehmbar, aber nicht schmerzhaft.

### Versuchsablauf

Die Durchführung des Experiments fand in einem leicht beleuchteten Laborraum statt. Die Aufgabe der Probanden bestand darin, sich eine Reihe von Bildern zu betrachten. Im Anschluss an jedes Bild musste eine Wiedererkennungsaufgabe gelöst werden (vgl. Kapitel 4.1). Die Probanden wurden zu Beginn über die Darbietung von akustischen bzw. haptischen Reizen informiert, sollen diese aber ignorieren. Die Manipulation des Faktors Modalität erfolgte als Zwischensubjekt-Design, d.h. die Teilnehmer wurden pseudo-zufällig einer der beiden experimentellen Bedingungen, Darbietung akustischer oder haptischer Distraktoren, zugeordnet. Der Aufbau und Ablauf war jedoch in beiden experimentellen Bedingungen (d.h. für alle Probanden) gleich. Die linke Hand lag mit fixiertem Zeigefinger auf der haptischen Stimulationsbox (siehe Abbildung 9 rechts). Alle Teilnehmer trugen Minikopfhörer und zusätzlich darüber einen Lärmschutzkopfhörer. Letzteres war notwendig, da in der haptischen Bedingung durch Relaiskarte und Stimulationsbox mechanische Geräusche erzeugt wurden, die es zu eliminieren galt.

Die Untersuchung war in vier experimentelle Blöcke mit jeweils 35 Bildern aufgeteilt. Zwischen den Blöcken erfolgte eine kurze Pause von 2 min. In jedem Bild wurden vier Distraktoren dargeboten (vgl. Kapitel 4.1). Die mittlere Dauer der Bilddarbietung betrug 15 s, insgesamt dauerte das Experiment ca. 60 min.

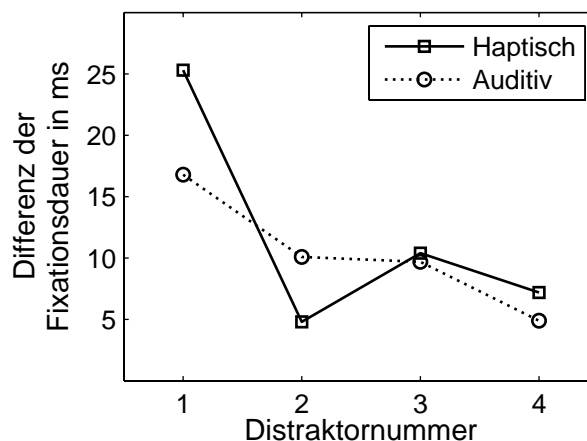
### Datenanalyse

Die Bereinigung und Aggregation der Blickbewegungsdaten vor der varianzanalytischen Auswertung folgte dem in Kapitel 4.4 beschriebenen Vorgehen. Langsame Habituationseffekte wurden über die vier experimentellen Blöcke und schnelle Habituationseffekte über die vier Distraktoren innerhalb des Bildes (im Folgenden als *Distraktornummer* bezeichnet) analysiert. Die Auswertung der Differenzwerte erfolgte mittels einer dreifaktoriellen Varianzanalyse mit den jeweils vierfach gestuften Messwiederholungsfaktoren Block und Distraktornummer und dem Zwischensubjektfaktor Distraktormodalität. Bonferroni-korrigierte t-Tests wurden für eine detaillierte Bewertung der Habituationseffekte herangezogen.

Um die Fragen bezüglich zeitlicher Unterschiede in den Häufigkeitsverteilungen der Fixationsdauern testen zu können, wurden für jeden Probanden 3 Verteilungen berechnet: (1) Verteilung der Baseline, (2) Verteilung für Distraktor 1 innerhalb eines Bildes und (3) Verteilung für Distraktoren 2-4 innerhalb eines Bildes. Die ursprünglichen Verteilungen mit einer Klassenbreite von 2 ms wurden zunächst mittels eines digitalen Glättungsfilters (*filtfilt*-Funktion der Matlab Signal-Processing-Toolbox, gleitendes Mittel über 21 Datenpunkte) weiterverarbeitet und dann in Verteilungen mit einer Klassenbreite von 20 ms umgewandelt. Anschließend erfolgte die statistische Auswertung mit dem bereits in Studie 1 zur Auswertung der EKP-Kurven eingesetzten Verfahrens von Blair und Karniski (1993), um zu analysieren, in welchen Zeitbereichen sich die Verteilungen unterscheiden. Es wurden Vergleiche zwischen Baseline und Distraktor 1 sowie Baseline und Distraktor 2-4 berechnet.

### 5.5.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Varianzanalyse der Differenzwerte zeigten einen signifikanten Effekt für den Faktor Distraktornummer,  $F(3, 16) = 5.47$ ,  $p < .01$ ,  $\eta^2 = .23$ , d.h. eine Abnahme der Fixationsdauer innerhalb des Bildes (siehe Abbildung 10). Paarweise Bonferroni-korrigierte t-Tests ergaben, dass dies auf eine signifikante Verringerung vom ersten zum zweiten Distraktor innerhalb eines Bildes zurückzuführen war. Für die beiden anderen Haupteffekte – Distraktormodalität und Block – sowie die resultierenden Interaktionen konnten keine signifikanten Resultate erzielt werden,  $F < 1$ .

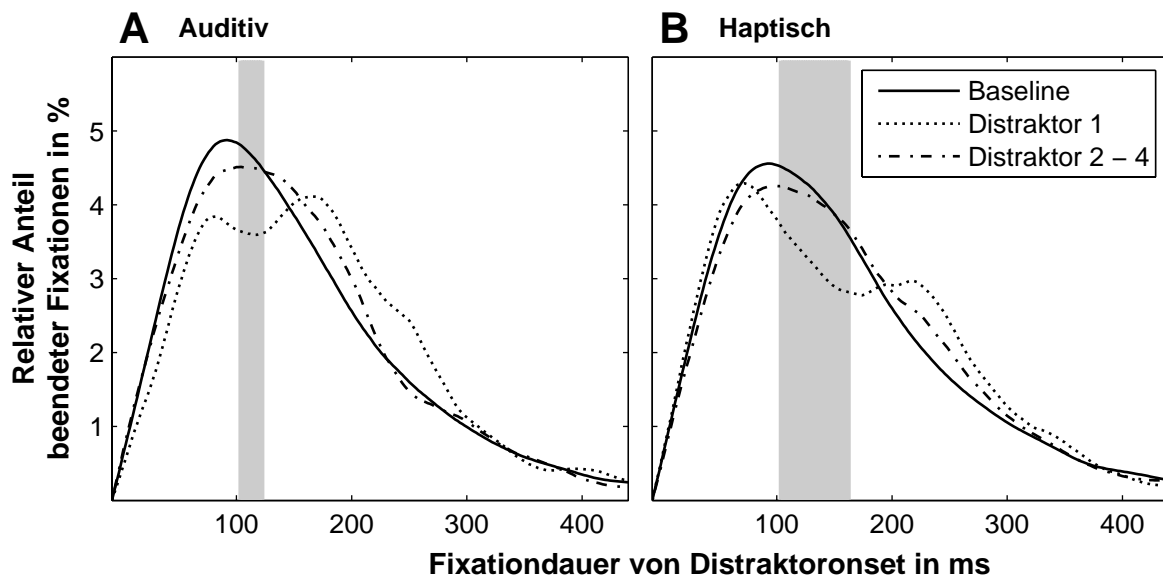


**Abbildung 10: Differenzwerte der Fixationsdauer für Distraktoren beider Modalitäten als Funktion der Distraktorabfolge innerhalb des Bildes.**

Aus Abbildung 10 ist ersichtlich, dass Distraktoren 2-4 nur sehr geringe Abweichungen der Fixationsdauer von der Baseline erzeugten. In einer post-hoc Analyse wurde mittels ANOVA für Messwiederholung mit den Innersubjektfaktoren Block (4-fach), Distraktornummer (3-fach: Distraktor 2, 3 und 4) und Treatment (2-fach: Baseline vs. Distraktorfixation) sowie der Distraktormodalität als Zwischensubjektfaktor geprüft, ob sich Fixationsdauer in Baseline-

und Distraktorfixationen statistisch unterscheiden. Nur für den Faktor Treatment zeigte sich ein signifikanter Effekt,  $F(1,18) = 25.2$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .58$ , d.h. auch für die Distraktoren 2 bis 4 im Bild ist eine signifikante Verlängerung der Fixation im Vergleich zur Baseline nachweisbar. Alle weiteren Haupteffekte und Interaktion waren nicht signifikant.

In einem weiteren Schritt der Analyse wurde die zeitliche Charakteristik der sakkadischen Hemmung für beide Modalitäten genauer betrachtet. Hierfür wurden die Häufigkeitsverteilungen der Fixationsdauer für Baseline, Distraktor 1 und Distraktor 2-4 verglichen. Das Zusammenlegen der Verteilungen der Distraktoren zwei bis vier ist gerechtfertigt, da in der vorangegangenen Analyse gezeigt wurde, dass sich diese in ihrer Wirkung nicht unterscheiden. Abbildung 11 zeigt die Häufigkeitsverteilungen für auditive (links) und haptische (rechts) Distraktoren. Im Vergleich zur Baseline war in beiden Modalitäten eine deutliche Abweichung der Verteilung von Distraktor 1 mit einer leichten Eindellung im Zeitfenster zwischen 70-200 ms zu erkennen. Bei auditiven Distraktoren schien diese Abweichung früher zu beginnen und endete schneller. Der Effekt der Distraktoren 2-4 war geringer ausgeprägt und lässt keine Eindellung in der Verteilung erkennen. Beim direkten Vergleich der Verteilungen mittels der Methode von Blair und Karniski (1993) fanden sich signifikante Abweichung zwischen Baseline und Distraktor 1; bei akustischen Distraktoren in einem Zeitfenster 100-120 ms und bei haptischen Distraktoren in einem Zeitfenster von 100-160 ms nach Distraktor-Onset (graue Balken in Abbildung 11). Der Vergleich von Baseline und Distraktor 2-4 zeigte in beiden Modalitäten keinen signifikanten Unterschied.



**Abbildung 11:** Häufigkeitsverteilung der Fixationsdauer für Baseline, Distraktor 1 und Distraktor 2-4 für die akustische (A) und haptische Modalität (B). Die Zeitfenster mit signifikanten Unterschieden ( $p < .05$ ) zwischen den Verteilungen für Baseline und Distraktor 1 sind durch graue Bereiche gekennzeichnet.

### 5.5.4 Diskussion

Ziel der Studie war die Prüfung des Distraktoreffekts und dessen Habituation bei auditiven und haptischen Distraktoren. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Studie 1 zeigte sich auch mit dieser modifizierten Version des Paradigmas ein schneller Habituationseffekt über die vier im Bild dargestellten Distraktoren in der auditiven Modalität. Ein vergleichbares Muster konnte auch für die Distraktoren der haptischen Modalität beobachtet werden. Eine Abnahme des Effekts über die Bilder hinweg (langsame Habituation) war für keine der beiden Modalitäten zu verzeichnen.

Diese Ergebnisse bestätigen erneut die multimodale Natur des Distraktoreffekts und stehen in Einklang mit den Befunden von Experiment 1 und einer Reihe früherer Studien zur Wirkung akustischer (Pannasch, et al., 2001; Pannasch & Velichkovsky, 2009) und somatosensorischer Distraktorreize (Amlot, et al., 2003). Weiterhin stützen die Daten die zumeist in tierexperimentellen Studien erhobenen Befunde zur Existenz auditiver und somatosensorischer afferenter Projektionen zum SC (Sparks & Hartwich-Young, 1989; Wallace & Stein, 2001) und belegen, dass diese, wie die Projektionen des visuellen Pfads (z.B. Reingold & Stampe, 1999), zu einer direkten Beeinflussung der Blickbewegungssteuerung führen können. Letzteres lässt sich auch aus den Befunden vieler Studien zur multisensorischen Integration ableiten (z.B. Diederich, Colonius, Bockhorst & Tabeling, 2003; Groh & Sparks, 1996; Stein, Meredith, Huneycutt & McDade, 1989). Hier zeigte sich, dass sakkadische Reaktionszeiten für visuelle Zielreize schneller sind, wenn auditive (Colonius & Arndt, 2001; Harrington & Peck, 1998) oder haptische (Amlot, et al., 2003; Diederich, et al., 2003) Reize in enger zeitlicher und räumlicher Nähe zum Sakkadenziel auftauchen. Studien in diesem Kontext verweisen jedoch auch auf einen starken Einfluss kortikaler Areale auf Prozesse der multisensorischen Integration im SC (für einen Überblick siehe Stein & Stanford, 2008).

Die statistischen Analysen der Fixationsdauervertellung erlaubten eine genauere zeitliche Verortung der dem Effekt zugrunde liegenden Hemmprozesse. Für akustische wie auch haptische Distraktoren ergaben sich die stärksten Abweichungen zwischen den Verteilungen des ersten Distraktors und der Baseline in einem zeitlich umgrenzten Intervall etwa 100 ms nach Distraktor-Onset. Obwohl die Abweichungen bei haptischen Distraktoren über einem etwas breiterem Zeitfenster auftraten, deuten die vergleichbaren Latenzen auf ähnliche funktionelle Mechanismen der sakkadischen Hemmung in beiden Modalitäten hin. Auch dieser Befund steht in Übereinstimmung mit den in Studie 1 berichteten Effekten für auditive Distraktoren. Der dem Habituationseffekt zugrunde liegende Mechanismus scheint also bei auditiven und haptischen Distraktoren etwa 60-70 ms früher einzutreten als bei visuellen.

---

Bisher ist ungeklärt welche funktionelle Prinzipien und hirnanatomischen Strukturen diesen Habituationseffekt erklären können. Eine aus den Ergebnissen von Studie 1 abgeleitete Vermutung war, dass die Hemmung für akustische und visuelle Distraktoren durch vergleichbare Prozesse moduliert wird. Dementsprechend sind sie Ausdruck der Verarbeitung sensorischer Information über einen schnellen subkortikalen Weg für die Bewertung von emotionaler Relevanz und Neuheit (*low road* – LeDoux, 1996). Das frühere Auftreten der sakkadischen Hemmung bei auditiven Distraktoren wurde mit Unterschieden in der anatomischen Reizweiterleitung in Zusammenhang gebracht. Information aus verschiedenen Modalitäten werden unterschiedlich schnell weitergeleitet und stehen daher in der Amygdala, der zentralen Struktur dieses subkortikalen Pfads, eher oder später zur Verfügung.

Diese Vermutung lässt sich auch durch Befunde neurophysiologischer Studien belegen, die an dieser Stelle überblicksweise dargestellt werden. In der auditiven Modalität erfolgt die Reizweiterleitung zur Amygdala wahrscheinlich über einen Pfad vom Inferior Colliculus (IC) zum Nucleus geniculatus medialis (Thalamus) und weiter zu den lateralen und basolateralen Kernen der Amygdala (Sah, et al., 2003). Die kürzesten Latenzen afferenter akustischer Information liegen im IC bei 2.5-3.5 ms (für einen Überblick siehe Aitkin, 1986), in den thalamischen Kernen bei ~9 ms (Bordi & LeDoux, 1994a) und für die Amygdala werden sie mit <20 ms angegeben (Bordi & LeDoux, 1992; Bordi, LeDoux, Clugnet & Pavlides, 1993; Uwano, Nishijo, Ono & Tamura, 1995). Den Hauptanteil der Inputs machen aber Neuronen mit längeren Latenzen aus, die dem Informationszufluss aus akustischen Kortexarealen zugeordnet werden können (Toyomitsu, Nishijo, Uwano, Kuratsu & Ono, 2002).

Auch für somatosensorische Informationen ist ein direkter subkortikaler Weg über Regionen des Thalamus (medialer Teil des Corpus geniculatum medialis, posteriorer interlaminaer Nucleus) zu den lateralen, basolateralen, sowie zentralen Kernen der Amygdala (Sah, et al., 2003) nachgewiesen worden. Die Latenzen somatosensorischer Inputs in thalamischen Gebieten sind dabei nur unwesentlich länger als für akustische Reize (Bordi & LeDoux, 1994b; Bordi, et al., 1993). Auch in der Amygdala kann von vergleichbaren Latenzen wie für auditive Reize ausgegangen werden (Romanski, Clugnet, Bordi & LeDoux, 1993; Uwano, et al., 1995).

Für die visuelle Modalität wird eine Verbindung von der Retina über den SC zum Pulvinar (Thalamus) und weiter zur Amygdala postuliert (Linke, et al., 1999). Die Latenzen visueller Stimulation werden im SC mit 30-70 ms angegeben (vgl. Reingold & Stampe, 2000). Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass elektrische Stimulation im SC mit einer Verzögerung von 2-12 ms zur Aktivierung von Neuronen im Pulvinar führten (Fish & Chalupa, 1979). Petersen, Robinson and Keys (1985) berichten über mittlere Latenzen von 65-85 ms in verschiedenen Arealen des Pulvinars, wobei die Minima bei ~40 ms liegen können. Wenn man wiederum von vergleichbaren Übertragungszeiten zwischen Thalamus und Amygdala (d.h. wie in der auditiven Modalität) ausgeht (5-10 ms), dann kann visuelle Information die Amygdala mit

einer minimalen Verzögerung von >45 ms erreichen. Dies deckt sich mit den Befunden von Nakamura, Mikami und Kubota (1992), welche das Antwortverhalten visueller Neuronen in der Amygdala von Primaten untersuchten. Sie fanden minimale Latenzen von 60 bzw. 20 ms je nachdem ob diese selektiv oder unspezifisch auf verschiedene visuelle Stimuli reagierten.

Insgesamt deuten die Ergebnisse neurophysiologischer Studien darauf hin, dass visuelle Informationen im Vergleich zu akustischer und haptischer mit einer zeitlichen Verzögerung von >25 ms in der Amygdala zur Verfügung stehen. Falls Habituationseffekte durch Verarbeitung in der Amygdala vermittelt werden, sollte sich dies auch in einer chronologischen Verschiebung im messbaren Blickverhalten niederschlagen. Die Ergebnisse von Studie 1 und 2 lassen eine solche zeitliche Modulation erkennen. Dies unterstützt die Hypothese, dass die schnelle Habituation des Distraktoreffekts tatsächlich durch eine subkortikale Verarbeitung in der Amygdala beeinflusst wird.

Bisher ist jedoch ungeklärt, wie der Wirkmechanismus von der Amygdala auf die Blicksteuerung aussehen könnte. Im Allgemeinen wird davon ausgegangen, dass der SC eine zentrale Rolle für die Steuerung von Sakkaden und Fixationen spielt (Sparks, 2002). Weiterhin wird angenommen, dass auch distraktorinduzierte Hemmung von Sakkaden über den SC vermittelt wird (Reingold & Stampe, 1999). Der beobachtete Habituationseffekt könnte daher für eine Modulation der Aktivität des SCs durch die Amygdala sprechen. Allerdings besitzt die Amygdala Verbindungen in zahlreiche kortikale und subkortikale Regionen des Hirns (Sah, et al., 2003). Eine Modulation könnte daher auch über andere direkte oder indirekte Verbindungen zum SC erfolgen. Hierzu gibt es jedoch bisher nur wenige Befunde. Tierexperimentelle Studien an Ratten deuten darauf hin, dass die Modulation des angstpotenzierten Lidschluss-Startle-Reflex durch Projektionen von der Amygdala zu den tiefen Schichten des SCs vermittelt wird (Zhao & Davis, 2004). Ähnliche direkte Projektionen könnten daher auch für die Modulation der sakkadischen Hemmung verantwortlich sein.

Kortikale Strukturen, wie die frontalen und supplementären Augenfelder (FEF, SEF), haben ebenfalls direkte Verbindungen zu den motorischen Zentren der Blickbewegungssteuerung im Hirnstamm (Meredith, 1999; Munoz & Everling, 2004; Sommer & Wurtz, 1998; Sparks & Barton, 1993). Eine Modulation des Blickverhaltens könnte also auch über Projektionen der Amygdala zu diesen Strukturen erfolgen. Dies wird gestützt durch Befunde von Mohanty, Egner, Monti und Mesulam (2009), die in einer fMRT-Studie zeigen konnten, dass bedrohliche Reize zu erhöhter Aktivität in der Amygdala und zu einer verstärkten Konnektivität der Amygdala mit Bereichen des kortikalen Netzwerkes zur räumlichen Aufmerksamkeitslenkung und Blickbewegungssteuerung inklusive der FEF führten.

---

Letztlich bleibt die Frage, ob Habituationbefunde nicht auch allein durch Funktionsmechanismen innerhalb des SCs erklärbar sind. Da der SC, wie oben dargestellt, über direkten sensorischen Input aller drei Modalitäten verfügt, scheint dies prinzipiell möglich. Experimentelle Befunde verweisen unter anderem darauf, dass die sensorischen Motorneuronen in den tiefen Lagen des SCs bei akustischer Stimulation schneller reagieren als bei visueller (Bell, Fecteau & Munoz, 2004), was die Unterschiede im zeitlichen Auftreten der sakkadischen Hemmung zwischen den Modalitäten erklären könnte. Weiterhin haben neurophysiologische Studien Habituationseffekte in der Feuerrate visueller sensorischer Neuronen in den oberen (*superficial*) und tiefen (*deep*) Lagen des SCs bei wiederholter Stimulation nachgewiesen (Sparks & Hartwich-Young, 1989). Dass Neuronen bereits auf diesem Level der Verarbeitung auf Aspekte der Neuheit zu reagieren scheinen, wurde auch von anderen Autoren gezeigt; z.B. für Neuronen im optischen Tectum der Schleiereule – der homologen Struktur des menschlichen SCs – (Reches & Gutfreund, 2008) und für sensorische Neuronen im IC von Ratten, über welchen akustische Informationen an den SC weitergeleitet werden (Perez-Gonzalez, Malmierca & Covey, 2005). Sowohl die Habituationseffekte an sich als auch Unterschiede im zeitlichen Auftreten dieser Habituationseffekte zwischen den Modalitäten können daher mit funktionellen Mechanismen im SC erklärt werden. Einzig der Befund zweier zeitlich dissoziierbarer Phasen der sakkadischen Hemmung bei visuellen Distraktoren (vgl. Studie 1) lässt sich nur bedingt mit ausschließlich SC basierten Mechanismen vereinen. Hierfür stellen Feedback-Prozesse über Amygdala oder andere subkortikale und kortikale Strukturen einen besseren Erklärungsansatz dar.

Zusammenfassend konnten in Studie 2 die Befunde zur schnellen Habituation bei Darbietung auditiver Distraktoren bestätigt und für haptische Distraktoren erweitert werden. Damit ließ sich sowohl in Studie 1 als auch in Studie 2 ein deutlicher Einfluss von Stimulusneuheit auf den Distraktoreffekt nachweisen. Diese Ergebnisse unterstützen die zugrunde liegende Annahme eines funktionellen Zusammenhangs von Distraktoreffekt und OR. Um die Hypothese weiter zu prüfen, soll im Folgenden Teil der Arbeit der Einfluss von Relevanz, als ein weiteres Merkmal der OR, empirisch untersucht werden.

## 6. Einfluss von Relevanz und Emotionen auf den Distraktoreffekt

### 6.1 Stimulusrelevanz als Auslösebedingung der OR

Neben Veränderungen im Stimulusinput und der Neuheit eines Reizes wird bereits von Sokolov (1963) der Signalwert (*signal value*) als eine primäre Auslösebedingungen für eine OR herausgestellt. Unter Signalwert versteht Sokolov (1963) „...*those acquired features of the stimulus which are signals for certain reactions.*“ (S. 163), d.h. Reize, die entweder Informationen bezüglich zukünftiger Ereignisse beinhalten oder mit bestimmten Verhaltensanforderungen verknüpft sind (siehe Siddle, 1979). Gleichbedeutend mit dem Begriff des „Signalwerts“ wurden in der Literatur zur OR häufig auch die Begriffe „Signifikanz“ und „Relevanz“ verwendet.

Eine typische Methode den Einfluss des Signalwerts auf die OR experimentell zu untersuchen besteht darin, dass Probanden instruiert werden, bestimmten Reizen Aufmerksamkeit zu zuwenden (z.B. Iacono & Lykken, 1984) oder ein Urteil bzw. eine Bewertung eines Reizes vorzunehmen (z.B. Badia & Harley, 1970). Dies geschieht häufig indem das Auftauchen eines Stimulus (im Stillen) mitgezählt werden muss (Becker & Shapiro, 1980) oder darauf mit Tastendruck reagiert werden soll (Orlebeke & Passchier, 1976; Siddle, O'Gorman & Wood, 1979; Tizzard, 1966). Eine andere Möglichkeit besteht darin, Stimuli zu verwenden, die bereits unterschiedliche Bedeutung für den Probanden haben, z.B. der eigene oder andere subjektiv bedeutsame Namen (Berlad & Pratt, 1995; Ofek & Pratt, 2005; Siddle, et al., 1979) oder Vergleiche zwischen bekannten und unbekanntem Gesichtern (Tranel, Fowles & Damasio, 1985).

Der theoretischen Konzeption folgend, sollte ein in dieser Form manipulierter Signalwert des Reizes zu stärkeren Reaktionen in Parametern der OR führen, was in einer Reihe von Studien belegt werden konnte (z.B. Maltzman, 1979a; Ray, Piroch & Kimmel, 1977; Stephenson & Siddle, 1983). Darüber hinaus wurde angenommen, dass Reize mit Signalwert eine deutlich verlangsamte Habituation aufweisen sollten (Packer & Siddle, 1987; Stephenson & Siddle, 1983). Dieses Verhalten konnte jedoch nicht in allen Studien bestätigt werden (vgl. Ben-Shakhar, Lieblich & Kugelmass, 1975).

Die Rolle des Signalwerts für die OR wurde auch von anderen Autoren hervorgehoben (Bernstein, 1969; Maltzman, 1979b; O'Gorman, 1979) und speziell von Bernstein (1969, 1979; 1975) im Rahmen der von ihm formulierten Theorie der „Signifikanz Hypothese“ weiter ausgearbeitet. Unter Signifikanz wurde hierbei die subjektive Bedeutung eines Reizes oder Ereignisses für den Organismus verstanden. Bernstein nahm an, dass eine Stimulusänderung an sich keine hinreichende Bedingung für das Auftreten einer OR darstelle. Neben dem Vorhandensein einer gewissen Stimulusneuheit müsse ein Reizes zusätzlich auch als



---

zumindest potentiell relevant (*significant*) beurteilt werden. Ein zentraler Kern der Hypothese war, dass beide Faktoren, Stimulusveränderung und Stimulussignifikanz, multiplikativ zum Auslösen der OR beitragen – eine Vermutung, die sich jedoch durch empirische Belege nicht eindeutig stützen ließ (für eine Übersicht siehe Stephenson & Siddle, 1983). So berichten z.B. Gati und Ben-Shakhar (1990) über additive Effekte von Stimulusneuheit und -signifikanz auf die OR, gemessen mittels SCR. Unabhängig davon stimmen jedoch die meisten Forscher darin überein, dass relevante Reize ein stärkeres Potential zum Auslösen einer OR besitzen.

Stimulussignifikanz ist bis heute ein wichtiges Thema der Forschung geblieben. Zunehmend sind jedoch Fragestellungen zu neuroanatomischen und neurophysiologischen Grundlagen der Verarbeitung von Stimulussignifikanz und der Zusammenhang zu Aufmerksamkeitsprozessen in den Fordergrund gerückt sind (Ofek & Pratt, 2005; Potts, 2004; Potts, Patel & Azzam, 2004; Sander, et al., 2003; Tipper, et al., 2008). Zudem existieren Bestrebungen, die in verschiedenen Bereichen erzielten Befunde innerhalb integrativer Modellen zu vereinigen, um so zu einem besseren Verständnis der beteiligten Gehirnmechanismen zu kommen und um neue Hypothesen für die weitere Forschung abzuleiten (Williams, 2006). Ähnlich wie schon bei Bernstein (1969, 1979) wird hier die Rolle von Stimulussignifikanz, im Sinne eines für die Organisation menschlicher Informationsverarbeitung fundamentalen Schlüsselprinzips (Williams, 2006), hervorgehoben. Aus dieser Sicht trägt auch die Erforschung des Zusammenhangs von OR und Distraktoreffekts zum verbesserten Verständnis dieser Prozesse bei. Nachdem in Studie 1 und 2 bereits Habituationseffekte und somit ein Einfluss von Neuheit auf den Distraktoreffekt nachgewiesen werden konnten, soll im folgenden Teil der Arbeit die Rolle von Relevanz bzw. des Signalwerts als Ansatzpunkt für die empirische Untersuchung herangezogen werden.

## 6.2 Einfluss von aufgabenspezifischer Relevanz: Studie 3

### 6.2.1 Einführung

In den bisher in dieser Arbeit dargestellten Studien hatten Distraktorreize keinerlei Bedeutung für die Aufgabendurchführung. Bei einem Zusammenhang zwischen OR und Distraktoreffekt kann jedoch vermutet werden, dass Zuweisung von Bedeutung zu Distraktoren, z.B. durch die Instruktion bestimmte Distraktorreize zu zählen, zu einer spezifischen Modulation des Effekts der Fixationsdauererlängerung führen sollte.

Bisher gibt es nur wenige Studien, die sich mit dem Effekt plötzlich auftauchender relevanter oder bedeutungsvoller Ereignisse auf das Blickverhalten bzw. Prozesse der sakkadischen Hemmung beschäftigt haben. Brown, Liversedge und Findlay (2005) verwendeten ein einfaches Fixieren-Springen-Paradigma, um die Wirkung von linguistischen im Vergleich zu nicht-linguistischen Distraktoren zu untersuchen. Sie fanden eine größere Verlängerung der sakkadischen Latenz bei der Präsentation linguistischer Distraktoren. Mit Einschränkungen lässt sich dieses Ergebnis auch im Sinne der Relevanzhypothese interpretieren; Wörter oder Pseudowörter haben einen höheren Informationsgehalt und damit eine größere Bedeutung im Vergleich zu den anderen in diesem Experiment verwendeten wortähnlichen Formsequenzen und dies bewirkte einen stärkeren Distraktoreffekt.

Ein weiterer Befund, der für die relevanzbezogene Modulation des Distraktoreffekts spricht, konnte in einem eher anwendungsorientiertem Forschungskontext gezeigt werden (Velichkovsky, Rothert, et al., 2002). Probanden hatten die Aufgabe in einer virtuellen Fahrumgebung zu fahren. Analysiert wurde das Blickverhalten relativ zu plötzlich auftretenden verkehrsrelevanten Veränderungen, wie z.B. dem Umschalten einer Ampel oder dem Auftauchen eines Fußgängers auf der Straße. Die Dauer der Fixationen, in denen solche Veränderungen stattfanden, war signifikant verlängert. Auf deskriptiver Ebene zeigte sich zudem eine größere Fixationsdauererlängerung, wenn der Fahrer angemessen reagierte im Vergleich zu Situationen, in denen dies nicht der Fall war, d.h. die Gefahr übersehen wurde. Obwohl dies aufgrund der geringen Anzahl von fehlerhaften Reaktionen in der Studie nicht statistisch, sondern nur rein deskriptiv, auswertbar war, kann es als ein Indiz für die Hypothese angesehen werden, dass als relevant erkannte Veränderungen der visuellen Umgebung zu einer stärkeren Fixationsdauererlängerung führten.

In beiden Studien sind jedoch inhaltliche oder methodische Einschränkungen festzustellen. So wurde in der Studie von Brown et al. (2005) nicht wirklich die Relevanz manipuliert, sondern der linguistische Inhalt der Reize. In der Studie von Velichkovsky et al. (2002) erschienen die Reize nicht plötzlich, statt dessen veränderten bereits in der virtuellen Umgebung anwesende Objekte ihr Verhalten oder Aussehen (Ampelumschalten, Fußgänger fängt an sich zu bewegen). Darüber hinaus erfolgten diese Veränderungen nicht blickkontingent und der

---

Effekt im Blickverhalten war durch eine Reihe weiterer Faktoren konfundiert (Bremsreaktion, perzeptuelles Feedback beim/über Bremsvorgang). In Studie 3 sollte daher das vorliegende Paradigma genutzt werden, um den Einfluss der Relevanz plötzlich auftauchender blickkontingenter Veränderung auf die Fixationsdauererlängerung genauer zu untersuchen.

Eine wesentliche Annahme der Theorie zur OR ist, dass diese durch Reizänderungen in verschiedenen Modalitäten ausgelöst werden kann. In den Ergebnissen von Studie 1 und 2 konnte bestätigt werden, dass Distraktoren verschiedener Modalitäten zu einer Fixationsdauererlängerung führen, allerdings mit deutlichen Unterschieden in der Ausprägung des Effekts. Darüber hinaus waren jedoch für alle drei Modalitäten vergleichbare Effekte der schnellen Habituation zu erkennen, die sich als zeitlich dissoziierbare Phasen sakkadischer Hemmung in der Fixationsdauererlängerung niederschlugen. Im Gesamtkontext der distraktorinduzierten Unterdrückung von Sakkaden spiegelt damit die Habituation am ehesten einen funktionellen Zusammenhang zur OR wider. Daher ist anzunehmen, dass Relevanzeffekte, wegen ihrer Beziehung zum Konzept der OR, genau wie Habituationseffekte zu einer modalitätsunspezifischen Veränderung im Blickverhalten führen sollten. Um diese Vermutung zu prüfen, wurde in der folgenden Studie der Einfluss von Relevanz für Distraktorreize der visuellen und akustischen Modalität untersucht.

Ziel der im Folgenden dargestellten Studie war die Untersuchung des Einfluss von Relevanz auf den Distraktoreffekt. Die experimentelle Manipulation von Relevanz erfolgte, indem die Probanden instruiert wurden, bestimmte Distraktorreize, die während der Bildbetrachtung auftauchten, im Stillen mitzuzählen. Es wurde erwartet, dass relevante Reize im Vergleich zu irrelevanten zu einem größeren Distraktoreffekt führen. Um die Hypothese der Modalitätsunabhängigkeit zu testen, wurde der Effekt der Relevanz für visuelle und akustische Distraktorreize untersucht. Klassische Untersuchungen zum Einfluss des Signalwerts auf die OR verwendeten häufig Paradigmen mit einer geblockten Darbietung der Relevanzbedingungen, d.h. Probanden erhielten entweder im Block wiederholt nur Reize auf die reagiert werden musste (stilles Zählen, Tastendruck) oder die nur ignoriert werden sollten (z.B. Siddle, et al., 1979). Damit konnte zwar ein Effekt instruierter Relevanz auf Parameter der OR nachgewiesen werden, allerdings erlaubt es dieses experimentelle Design nicht eindeutig zu klären, ob dies auf einen eher generellen Aufmerksamkeitszuwendungseffekt im Relevanzblock zurückzuführen ist. Paradigmen mit gemischter zufälliger Darbietung von zu beachtenden Zielreizen (*targets*) und zu ignorierenden Reizen (Standards) erlauben diesbezüglich eine genauere Dissoziation zugrunde liegender Informationsverarbeitungsprozesse (z.B. Potts, et al., 2004).

Diese Art der gemischten Darbietung von Targets und Standards wird oft auch als Oddball-Paradigma bezeichnet. In Oddball-Stimulussequenzen hat die Auftretenswahrscheinlichkeit des Reizes einen wichtigen Einfluss auf die Verarbeitungsprozesse, wie in verschiedenen Reaktionszeit- und EKP-Studien gezeigt werden konnte (Gordon, 1967; Polich & Margala,

1997; Squires, Donchin, Herning & McCarthy, 1977). Um solche Effekte zu kontrollieren, wurden in der vorliegenden Studie Stimulussequenzen mit einem ausgewogenen Verhältnis von Ziel- und Standardreizen verwendet. Um zu testen, ob die Aufmerksamkeitszuwendung im Allgemeinen – d.h. auch bei zu ignorierenden Distraktoren – zu einer Veränderung des Distraktoreffekts führt, wurde zusätzlich eine Bedingung implementiert, bei der alle Distraktorreize innerhalb des Bildes ignoriert werden sollten.

## **6.2.2 Methoden**

### Stichprobe

An der Studie nahmen 33 gesunde Studenten (9 männlich) der TU Dresden im Alter von 20 bis 38 Jahren teil ( $M = 26$ ,  $SD = 3.2$ ). Alle Teilnehmer verfügten über normales oder korrigiertes Sehvermögen und berichteten über keine Beeinträchtigungen des Hörvermögens.

### Aufbau und Geräte

Für die Untersuchung kam der in Kapitel 4.2 dargestellte Systemaufbau zur Verwendung. Als Blickbewegungsmesssystem kam das Eyelink I System zum Einsatz. Die Messung erfolgte monokular mit einer Abtastrate von 250 Hz. Die akustischen Distraktorreize wurden mit einer Standard PC Soundkarte generiert und auf beiden Ohren über Minikopfhörer dargeboten.

### Stimulusmaterial

Das Stimulusmaterial der Bildbetrachtungsaufgabe bestand aus 48 Abbildungen von Gemälden (vgl. Kapitel 4.1). Im Laufe des Experiments kamen zwei visuelle und zwei akustische Distraktoren zum Einsatz. Die visuellen Distraktoren waren ovalförmige, hellblaue (R: 0, G: 255, B: 252) Ringe (Hauptachsenlänge  $2.7^\circ$ , Nebenachsenlänge  $2.2^\circ$  und Randbreite  $0.3^\circ$ ), die mit horizontaler (vis1) oder waagerechter (vis2) Ausrichtung dargeboten wurden. Als akustische Distraktoren kamen sinusförmigere Töne (1000 Hz = aud1, 1500 Hz = aud2) mit einer Lautstärke von 70 dB und einer Anstiegs- und Abfallzeit von 5 ms zum Einsatz.

### Versuchsablauf

Die Manipulation von aufgabenbezogener Relevanz wurde in der Untersuchung als Zwischensubjektdesign mit den zwei experimentellen Bedingungen „Aktiv“ und „Passiv“ umgesetzt. In der aktiven Bedingung mussten die Probanden das Auftauchen bestimmter Zielreize während der Bildbetrachtung zählen; in der passiven Bedingung sollten alle Distraktorreize ignoriert werden. Die Probanden wurden per Zufall einer der beiden Bedingungen zugeordnet.

Während der Durchführung saßen die Probanden in einem leicht beleuchteten Laborraum. Sie hatten die Aufgabe, eine Reihe von Bildern aufmerksam zu betrachten. Im Anschluss an die Darbietung mussten sie jeweils drei Fragen zum Inhalt beantworten (vgl. Kapitel 4.1). In der

aktiven Bedingung erhielten die Probanden am Anfang des Blocks eine kurze Instruktion, welcher Stimulus gezählt werden sollte. Am Ende eines Bildes erschien zusätzlich zu den drei Fragen eine Abfrage bezüglich der Anzahl der Zielreize. Dazu musste der richtige Wert aus fünf Vorgaben ausgewählt werden. In der passiven Bedingung entfielen sowohl die Instruktion am Blockanfang als auch die Abfrage zur Anzahl der Zielreize.

Eine experimentelle Session bestand in beiden Relevanzbedingungen jeweils aus vier Blöcken mit 12 Bildern. Die Blöcke waren hinsichtlich der Modalität der zu zählenden Zielreize unterschiedlich. In zwei Blöcken mussten visuelle und in den anderen beiden akustische Zielreize gezählt werden. Die Abfolge der Modalität zwischen den Blöcken war alternierend, wobei die Modalität des ersten Blocks zufällig festgelegt wurde. In jedem Bild gab es drei Arten von Distraktoren; Zielreize (Z), kongruente Distraktoren der gleichen Modalität (KD) und inkongruente Distraktoren der jeweils anderen Modalität (IKD). Die Zuordnung von Distraktorstimuli zu Distraktorart war im visuellen Block: vis1=Z, vis2=KD und aud1=IKD; im akustische Block: aud1=Z, aud2=KD und vis1=IKD. Insgesamt wurden 18 Distraktoren pro Bild dargeboten. Die Anzahl der Zielreize im Bild variierte zufällig zwischen fünf und sieben, die Anzahl der kongruenten Distraktoren war immer sechs und die Menge der inkongruenten Distraktoren ergänzte sich zur Gesamtanzahl. Der Algorithmus zur Darbietung der Distraktoren war analog zum in Kapitel 4.1 geschilderten Vorgehen. Die mittlere Dauer einer Bilddarbietung betrug etwa 40 s. Insgesamt dauerte das Experiment ca. 45 min.

### Datenanalyse

Die Bereinigung und Aggregation der Blickbewegungsdaten vor der varianzanalytischen Auswertung folgte dem in Kapitel 4.4 beschriebenen Vorgehen. Die Analyse der Differenzwerte erfolgte mit einer dreifaktoriellen ANOVA für Messwiederholung mit den Inner-subjektfaktoren Modalität (2-fach: akustisch vs. visuell) und Distraktorart (3-fach: Z vs. KD vs. IKD) und dem Zwischensubjektfaktor Relevanz (2-fach: Aktiv vs. Passiv). Ein tieferer Einblick in die Modulation des Distraktoreffekts und der zugrunde liegenden Prozesse sollte durch eine genauere Analyse der Häufigkeitsverteilungen der Fixationsdauer erreicht werden. Hierbei waren vor allem die Unterschiede in der zeitliche Charakteristik der Häufigkeitsverteilungen zwischen den Relevanzbedingungen (aktiv vs. passiv) und Distraktorarten (Z vs. KD vs. IKD) in den beiden Modalitäten interessant. Die statistische Analyse von Unterschieden zwischen den Verteilungen zweier Bedingungen erfolgte mittels Permutationstests. Diese Abweichung vom bisher verwendeten Verfahren nach Blair und Karniski (1993) war notwendig, da die Unterschiedstestung der Verteilungen von aktiver und passiver Relevanzbedingung ein Testverfahren für unabhängige Stichproben erforderte. In der vorliegenden Softwareversion des Algorithmus von Blair und Karniski ist dieses bisher nicht implementiert. Die verwendeten Permutationstests sind eine vergleichbare Klasse der sogenannten Resampling-Verfahren und eignen sich ebenfalls zur Schätzung von Stichprobenstatistiken. Sie werden häufig zum Vergleich von EEG/ERP-Daten eingesetzt und sind zu diesem Zweck

in der Matlab-Toolbox EEGLAB implementiert. Für die Berechnungen wurde die *statcond*-Funktion der EEGLAB Toolbox eingesetzt (Delorme & Makeig, 2004).

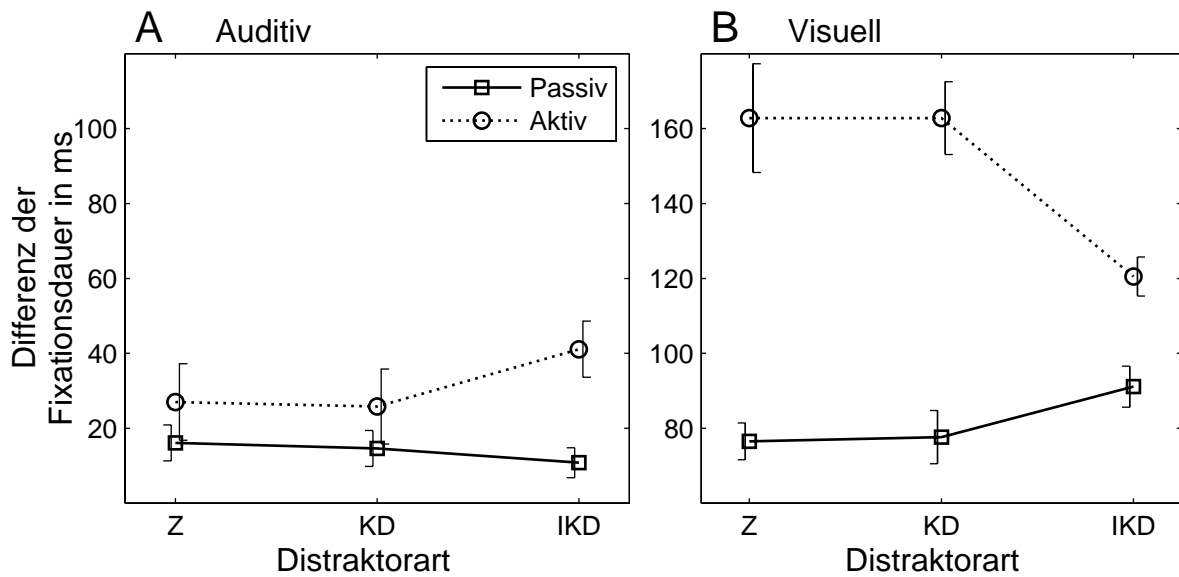
Zusätzlich wurden in dieser Studie die Richtigkeit der Zählperformanz und der Fragen zum Bildinhalt analysiert. Dadurch konnte der Einfluss der aktiven Bedingung auf die Bildbetrachtungsaufgabe bewertet werden. Die Performanz zur Bildabfrage ergab sich als Quotient richtiger Antworten zur Gesamtanzahl der Fragen. Die Zählperformanz ergab sich als Quotient der Anzahl der Bilder in denen die Zielreize richtig gezählt wurden im Verhältnis zur Gesamtanzahl der Bilder.

### 6.2.3 Ergebnisse

Zunächst sollen die Verhaltensdaten dargestellt werden. Die Analyse der Zählperformanz (nur aktive Bedingung) mittels t-Test für abhängige Stichproben ergab einen signifikanten Unterschied in der Erkennungsleistung in Abhängigkeit von der Modalität der Zielreize,  $t(16) = 5.61$ ,  $p < 0.01$ . Die Erkennungsleistung war besser für auditive ( $M = 0.84$ ,  $SD = .12$ ) im Vergleich zu visuellen Zielreizen ( $M = 0.54$ ,  $SD = .14$ ). Die Lösungsgenauigkeit der Fragen zum Bildinhalt wurde anhand einer ANOVA für Messwiederholung mit dem Innersubjektfaktor Modalität und dem Zwischensubjektfaktor Relevanz ausgewertet. Die Ergebnisse der Analyse zeigten keine signifikanten Haupteffekte und Interaktionen. Die Lösungswahrscheinlichkeit betrug im Mittel  $M = 0.76$  ( $SD = 0.073$ ).

Die statistische Analyse der Differenzwerte der Fixationsdauer ergab höchst signifikante Haupteffekte für die Faktoren Modalität,  $F(1, 31) = 249$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .889$ , und Relevanz,  $F(1, 31) = 46.1$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .60$ . Erwartungsgemäß generierten visuelle im Vergleich zu akustischen Distraktoren eine wesentlich größere Fixationsdauererlängerung. Darüber hinaus war der Distraktoreffekt in der aktiven Bedingung stärker ausgeprägt als in der passiven. Weiterhin ergab sich eine höchst signifikante Interaktion zwischen beiden Faktoren,  $F(1, 31) = 20.5$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .40$ . Für visuelle Distraktoren war der Unterschied zwischen aktiver und passiver Bedingung stärker ausgeprägt als für auditive. Wie sich in post-hoc Vergleichen erkennen ließ, war nur für visuelle Distraktoren ein signifikanter Unterschied zwischen den Relevanzbedingungen zu verzeichnen ( $p < .05$  für alle drei Distraktorarten).

Überraschenderweise zeigte sich für den Faktor Distraktorart kein signifikanter Haupteffekt,  $F(2, 62) = 1.34$ ,  $p = 0.26$ . Dafür ergaben sich sowohl für die Interaktionen zwischen Distraktorart und Relevanz,  $F(2, 62) = 5.27$ ,  $p < .01$ ,  $\eta^2 = .16$ , sowie zwischen Distraktorart, Relevanz und Modalität,  $F(2, 62) = 9.92$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .24$ , signifikante Befunde. Die Diagramme für diese dreifache Interaktion sind in Abbildung 12 dargestellt.



**Abbildung 12:** Differenzwerte der Fixationsdauer für visuelle und auditive Distraktoren als Funktion von Distraktorart (Z = Zielreiz, KD = kongruenter Distraktor und IKD = inkongruenter Distraktor) und Relevanz (aktiv = Zielreize zählen vs. passiv = Alle ignorieren).

Um die Art dieser Interaktion genauer bewerten zu können, wurden für beide Modalitäten getrennte ANOVAs durchgeführt, mit Distraktorart als Innersubjektfaktor und Relevanz als Zwischensubjektfaktor. Bei akustischen Distraktoren ergab die Analyse einen signifikanten Effekt für Relevanz,  $F(1, 31) = 4.32$ ,  $p < .01$ ,  $\eta^2 = .12$ , jedoch keinen für Distraktorart, ( $F < 1.1$ ). Dafür zeigte sich eine signifikante Interaktion zwischen beiden Faktoren,  $F(2, 62) = 3.72$ ,  $p < .01$ ,  $\eta^2 = .11$ . Wie aus post-hoc Einzelvergleichen hervorgeht, basiert dieser Effekte auf einem größeren Distraktoreffekt für den IKD der aktiven Bedingung gegenüber Z und KD aktiv (beide  $ps < .05$ ) sowie im Vergleich zu Z, KD und IKD passiv (alle  $ps < .01$ ). Obwohl Z und KD der aktiven Bedingung eine größere Fixationsdauererlängerung aufwiesen, unterschieden sie sich nicht vom passiven Z und KD (beide  $p > .22$ ).

In der visuellen Modalität zeigten sich signifikante Haupteffekte von Relevanz,  $F(1, 31) = 52$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .63$ , und Distraktorart,  $F(2, 62) = 3.23$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .10$ , sowie eine signifikante Interaktion zwischen beiden Faktoren,  $F(2, 62) = 12.8$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .29$ . Post-hoc Vergleiche ergaben keine Unterschiede zwischen den Distraktorarten in der passiven Bedingung (alle  $ps > .39$ ). In der aktiven Bedingung war eine signifikant kleinere Fixationsdauererlängerung für IKD gegenüber Z und KD ( $p < .01$ ) zu verzeichnen, wobei sich die beiden letzteren nicht voneinander unterschieden ( $p > .8$ ). Für alle drei Distraktorarten ist der Distraktoreffekt in der aktiven Bedingung jeweils signifikant größer als in der passiven ( $p < .01$ ).

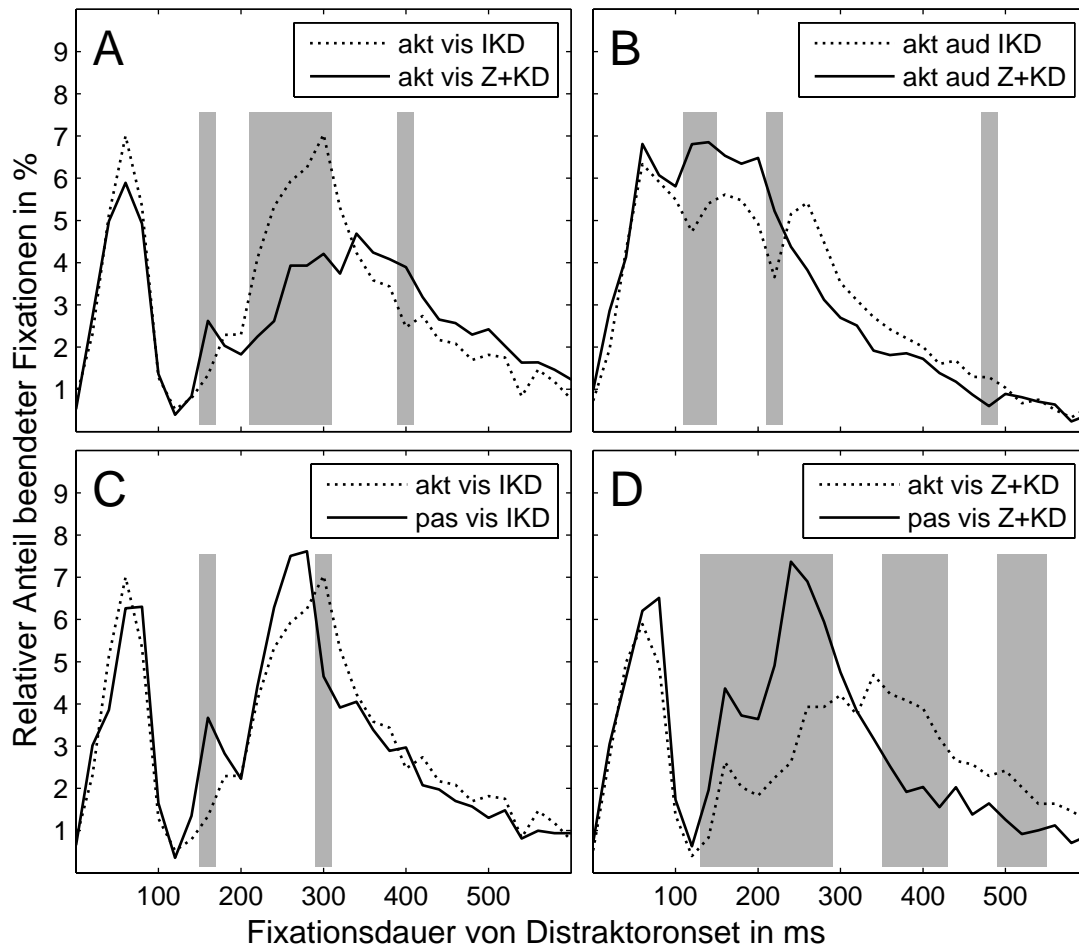
Aufgrund des Zwischensubjekttdesigns ist es denkbar, dass die Unterschiede hinsichtlich Relevanz und Distraktorart durch Stichprobenunterschiede verursacht wurden. Um dies zu bewerten, wurden zwei Kontrollanalysen durchgeführt: 1) eine dreifaktorielle ANOVA für

Messwiederholung (wie oben dargestellt) über die Fixationsdauer der Distraktorfixationen und 2) die gleiche Analyse für die Fixationsdauer der Baselinefixationen. Die erste Analyse zeigte vergleichbare Haupteffekt- und Interaktionsmuster, wie sie in der Analyse der Differenzwerte zu finden waren, d.h. Effekte der Fixationsdauererlängerung sind unabhängig von Veränderungen der Baselinefixationsdauer. Diese Aussage wird auch durch die zweite Kontrollanalyse unterstützt, denn es zeigte sich kein genereller Unterschied in Dauer distraktorunbeeinflusster Fixationen zwischen aktiver und passiver Gruppe.

Im nächsten Schritt wurden die Fixationsdauerverteilungen genauer analysiert, um die zeitliche Charakteristik des Einflusses von Relevanz und Distraktorart bewerten zu können. Hierbei interessierten vor allem die Unterschiede hinsichtlich der Distraktorart in der aktiven Bedingung und die Unterschiede zwischen passiver und aktiver Bedingung speziell für visuelle Distraktoren. Der Einfluss der Distraktorart in der aktiven Bedingung ist in Abbildung 13A und B für visuelle bzw. auditive Distraktoren dargestellt. Die Daten von Zielreiz und kongruentem Distraktor (Z und KD) wurden zusammengefasst, da in den Varianzanalysen (siehe oben) keine Hinweise für Unterschiede zwischen diesen Bedingungen zu finden waren. Die statistische Analyse von Unterschieden zwischen den Verteilungen erfolgte mit Permutationstests. In der Abbildung 13 sind die Zeitbereiche signifikanter Abweichungen ( $p < .05$ ) durch graue Flächen dargestellt.

Wie in Abbildung 13A zu sehen, waren Unterschiede zwischen Z+KD und IKD bei visuellen Distraktoren in der aktiven Bedingung erst im Anschluss an die erste Phase der sakkadischen Hemmung  $\sim 160$  ms nach Distraktor-Onset zu finden, wobei die Stärke der Hemmung an dieser Stelle für IKD größer war als für Z+KD. Erst im folgenden Zeitfenster ( $\sim 210$ - $310$  ms) manifestierte sich eine Phase stärkerer Hemmung für Z+KD, die dem zuvor berichteten Unterschied der Fixationsdauererlängerung (vgl. Abbildung 12B) zwischen beiden Bedingungen zugrunde lag. Für die auditive Modalität (siehe Abbildung 13B) ist der Effekt umgekehrt, hier ist eine größere Hemmung für IKD im Zeitfenster von  $\sim 110$ - $230$  zu finden. Aus deskriptiver Sicht fallen die Bereiche signifikanter Abweichungen mit lokalen Minima in der IKD Verteilung bei  $\sim 120$  und  $\sim 220$  ms zusammen. Der Vergleich der Relevanzbedingungen (aktive vs. passiv) für visuelle IKD (siehe Abbildung 13C) ist gekennzeichnet durch eine frühe Phase signifikant stärkerer Hemmung in der aktiven Bedingung bei  $\sim 160$  ms. Ein ähnliches Effektmuster tritt auch im Zeitbereich von  $250$ - $290$  ms auf, allerdings ist ein signifikanter Unterschied zwischen den Verteilungen erst danach zu erkennen, vermutlich weil sich das lokale Maxima der aktiven IKD Verteilung durch Hemmung zeitlich nach hinten verschiebt. In Abbildung 13D schließlich ist der Unterschied zwischen passiver und aktiver Bedingung für Z+KD abgetragen. Unmittelbar im sich an die erste Phase der Hemmung anschließenden Zeitfenster ( $\sim 130$ - $280$  ms) ist eine stärkere Unterdrückung sakkadischer Aktivität in der aktiven Bedingung zu erkennen.





**Abbildung 13:** Häufigkeitsverteilungen der Fixationsdauer (Klassenbreite 20 ms) als Funktion von Distraktorart und Relevanz. Die oberen Abbildungen zeigen zusammengefasste Daten von Ziel- und kongruentem Distraktor (Z+KD) im Vergleich zum inkongruentem Distraktor (IKD) in der aktiven Bedingung für (A) visuelle und (B) auditive Distraktoren. In der unteren Hälfte sind die Unterschiede zwischen aktiver und passiver Bedingung für (C) IKD und (D) Z+KD der visuellen Modalität dargestellt. Die grau hinterlegten Bereiche kennzeichnen signifikante Abweichung ( $p < 0.05$  – gemäß Permutationstest, siehe Kapitel 6.2.2) zwischen den jeweiligen Verteilungen. *Anmerkung:* vis = visuell, aud = auditiv, pas = passiv, akt = aktiv

## 6.2.4 Diskussion

Im Rahmen des Experiments sollte der Einfluss aufgabenbezogener Relevanz auf den Distraktoreffekt untersucht werden. Die Auswertung ergab eine stärkere Fixationsdauer-Verlängerung in der aktiven Zählen-Bedingung im Vergleich zur passiven Ignorieren-Bedingung. Im Einklang mit der Hypothese zeigte sich ein deutlicher Effekt des Faktors Relevanz, jedoch nur für die visuelle Modalität. Weiterhin konnte in der aktiven Bedingung beider Modalitäten kein Unterschied zwischen Zielreiz und kongruentem Distraktor

nachgewiesen werden, sondern lediglich ein Abfall des Effekts für den inkongruenten Distraktor in der visuellen Modalität und ein Anstieg des Effekts des inkongruenten Distraktors in der auditiven Modalität. Interessanterweise war die Fixationsdauererlängerung des inkongruenten Distraktors in der aktiven Bedingung für beiden Modalitäten größer verglichen mit dem der passiven Bedingung, d.h. die Zählen Instruktion verändert nicht nur die Reaktion auf die jeweils im Block zu beachtende Modalität, sondern auch auf die Distraktoren der nicht zu beachtenden Modalität.

Auf den ersten Blick suggerieren die Ergebnisse einen Einfluss aufgabenspezifischer Relevanz auf den Distraktoreffekt. Zumindest für visuelle Distraktoren steht dies im Einklang mit früheren Befunden aus Fixieren-Springen-Experimenten, in denen eine Verlängerung der sakkadischen Latenz bei Darbietung linguistischer Distraktoren im Vergleich zu physikalisch ähnlichen aber nicht linguistischen Formsequenzen berichtet wurde (Brown, et al., 2005) und mit den Daten von Velichkovsky und Kollegen (2002) zum Einfluss plötzlich auftretender verkehrsrelevanter Veränderungen auf das Blickverhalten in einer virtuellen Fahrumgebung. Der Effekt zeigte sich jedoch nur bei visuellen Distraktoren. Wie schon in Studie 1 und 2 war die Fixationsdauererlängerung für akustische Distraktoren deutlich geringer ausgeprägt. Obwohl der Effekt für akustische Zielreize und kongruente Distraktoren in der aktiven Bedingung größer war, unterschied er sich nicht von dem in der passiven Bedingung. Dies widerspricht den Erwartungen, da Effekte der Relevanz genau wie schnelle Habituationseffekte modalitätsunspezifisch wirken sollten. Aus dieser Perspektive kann man daher vermuten, dass der Einfluss von Relevanz auf den Distraktoreffekt durch einen anderen Mechanismus vermittelt wird, als jener, welcher der schnellen Habituation zugrunde liegt.

Modalitätsunterschiede zeigten sich auch in den Verhaltensdaten der aktiven Bedingung für die Zählperformanz, wobei die Leistung für auditive Reize signifikant besser war als für visuelle. Dies könnte auf eine höhere Schwierigkeit bei der Erkennung und Diskrimination visueller Distraktoren hindeuten. Möglicherweise verursachte dies auch einen erhöhten kognitiven Aufwand und führte infolge zu einer Verzögerung der weiteren visuellen Verarbeitung und der Sakkadenprogrammierung. Aufgrund des blickkontingenten Paradigmas sind jedoch schon die Wahrnehmungsbedingungen für auditive und visuelle Distraktoren unterschiedlich. So wird die Enkodierung eines visuellen Distraktors automatisch durch einen vorzeitigen Blicksprung unterbrochen und dessen Wahrnehmbarkeit ist außerdem in stärkerem Maße vom lokalen visuellen Kontrast am Fixationsort beeinflusst. Beide Faktoren könnten eine korrekte Erkennung visueller Distraktoren erschwert haben, blieben jedoch ohne Einfluss auf die Wahrnehmung akustischer Distraktoren. Die Ursachen für die Abweichungen in der Zählperformanz sind demnach eher in Unterschieden der Wahrnehmbarkeit zu suchen und nicht in der Schwierigkeit der Diskriminationsaufgabe. Daher kann letzteres auch nicht den modalitätsspezifischen Einfluss von Relevanz auf den Distraktoreffekt erklären.

---

Eine andere Interpretationsweise der modalitätsspezifischen Wirkung von Relevanz ergibt sich, wenn die experimentelle Situation als Doppelaufgaben (*dual-task*) Szenario betrachtet wird. Demnach wäre die Bildbetrachtung als Hauptaufgabe zu sehen und die Distraktorerkennung als eine parallel auszuführende Zweitaufgabe. Unterschiede in der Wirkung des Distraktors könnten demnach das Ausmaß von Interferenz oder Störung der Verarbeitungsprozesse bei paralleler Aufgabenausführung widerspiegeln. Es gibt inzwischen eine Vielzahl von Modellen menschlicher Informationsverarbeitung, die versuchen Performanzeinbußen in *dual-task* Situationen zu erklären. Fast alle gehen davon aus, dass zentrale Verarbeitungsmechanismen durch begrenzte Ressourcen, limitierte Kapazität oder Informationsengpässe (sogenannte Flaschenhälse) gekennzeichnet sind (Kahneman, 1973; Pashler & Johnston, 1998; Welford, 1967; Wickens, 1980). Diese Art von Engpässen zeigen sich in der Regel dann im Verhalten, wenn zwei Aufgaben oder Informationen gleichzeitig bearbeitet werden müssen und können zum vollständigen Zusammenbruch einer Tätigkeit, der Herabsetzung der Ausführungsleistung oder Verlangsamung der Reaktionszeit führen. Typischerweise treten die stärksten Interferenzen dann auf, wenn zwei Aufgaben um die dieselben Funktionen konkurrieren (Reason, 1994) oder wenn beide Inputs die gleiche sensorische Modalität involvieren (Treisman & Davis, 1973). Während einige Modelle eher von einer singulären amodalen zentralen Ressource bzw. generalisierten Kapazität ausgehen (Broadbent, 1971; Kahneman, 1973; Welford, 1967), favorisieren andere Autoren multiple Prozessoren oder Ressourcen für unterschiedliche Aufgabenanforderungen (Alais, Morrone & Burr, 2006; Allport, Antonis & Reynolds, 1972; McLeod, 1977; Wickens, 1980, 2008).

In der Multiplen-Ressourcen-Theorie von Wickens (1980, 2008) werden unabhängige Ressourcen für verschiedene Verarbeitungsdimensionen postuliert. Gemäß dieser Klassifikation existieren Ressourcen-Pools für unterschiedliche Verarbeitungsstufen (Enkodierung/zentrale Kognition vs. Reaktion), Verarbeitungsmodalitäten (visuell vs. auditiv) und Verarbeitungsweisen (räumliche vs. verbale Codes). Laut Modell kann die Bearbeitung paralleler Anforderung dann ohne Störungen verlaufen, wenn die Aufgaben unterschiedliche Ressourcen-Pools in Anspruch nehmen.

Die Ergebnisse des vorliegenden Experiments können im Sinne einer Inanspruchnahme modalitätsspezifischer Verarbeitungsressourcen interpretiert werden. Vermutlich konnte die Erkennung/Verarbeitung auditiver Distraktoren unabhängig von der Betrachtung und Analyse des Bildinhalts erfolgen und blieb daher ohne signifikanten Einfluss auf das Blickverhalten. Im Gegensatz dazu erforderte die visuelle Distraktordiskrimination eine Auslastung der gleichen zentralen Ressourcen für die Analyse von Bildinhalt und Distraktorreiz. Ungeachtet dessen, ob die Verarbeitung der beiden Informationen dabei seriell abläuft, wie es Flaschenhalsmodelle (siehe Pashler & Johnston, 1998) postulieren, oder eher parallel, aber mit verteilten Ressourcen/Kapazitäten (Kahneman, 1973), könnten die Interferenzen zwischen den beiden Prozessen den Anstieg des Distraktoreffekts in der visuellen Modalität erklären.

Neben der fehlenden Modulation des Distraktoreffekts durch Relevanz in der aktiven Bedingung der akustischen Modalität, bestand ein weiteres unerwartetes Ergebnis darin, dass es in der aktiven Bedingung auch keine Unterschiede in der Fixationsdauererlängerung zwischen Zielreiz und kongruenten Distraktors gab. Hierfür ist vermutlich ausschlaggebend, dass die Diskriminationsentscheidung die gleichen perzeptuellen und kognitiven Verarbeitungsprozesse für Ziel- und Distraktorreiz erforderte (zur Erinnerung: beide waren elliptische Kreisringe derselben Farbe und Größe, jedoch unterschiedlicher räumliche Orientierung – aufrecht und liegend). Erst nachdem diese Verarbeitungsschritte abgeschlossen waren, konnte die Programmierung einer neuen Sakkade fortgesetzt werden. Wenn jedoch, wie beim inkongruenten visuellen Distraktor, eine solche Verarbeitung der Stimulusmerkmale nicht oder nur teilweise notwendig war, weil nur das Merkmal Modalität beachtet werden musste, konnte die Programmierung der nächsten Sakkade früher beginnen und führte daher zu einem kleineren Effekt der Fixationsdauererlängerung.

Interessanterweise hatte die Zählen Instruktion auch einen Einfluss auf die inkongruenten Distraktoren; die Fixationsdauererlängerung für aktive IKD war in beiden Modalitäten größer als für passive. Dies ist jedoch nicht das Resultat der Aufmerksamkeitszuwendung per se, denn für akustische IKD in der aktiven Bedingung war der Effekt auch größer im Vergleich zu Zielreiz und kongruentem Distraktor. Vielmehr ergab sich der Effekt also erst als Folge der Zuwendung zu Zielreizen der anderen Modalität im Block (d.h. als Interaktion zwischen aktiver Zuwendung und Modalität). Eine aktive – vermutlich selektive – Aufmerksamkeitszuwendung zu einer spezifischen Stimulusdimension (Modalität) führte scheinbar dazu, dass die Distraktoren der jeweils anderen Modalität ein stärkeres Ablenkpotehtial erhielten. Bisher sind dem Autor keine Studien bekannt, in denen vergleichbare modalitätsspezifische Interferenzeffekte auf Verhaltensmaße berichtet wurden. Weitere Studien sind daher zunächst notwendig, um diesen unerwarteten Befund detaillierter zu analysieren.

Eine genauere inhaltliche Bewertung des Relevanzeffekts für visuelle Distraktoren ermöglichte die Analyse der Häufigkeitsverteilungen der Fixationsdauer (siehe Abbildung 16D). Diese ergaben für visuelle Reize (Z+KD) der aktiven im Vergleich zur passiven Bedingung ein stärkeres Ausmaß sakkadischer Hemmung unmittelbar im Anschluss an die frühe reflexhafte Phase, ~130 ms nach Distraktoronsset. Dieses Muster bestätigt einerseits bisherige Vermutungen zur funktionellen Bedeutung der ersten Phase sakkadischer Hemmung. Die reflexhafte Unterdrückung weiterer Blickbewegungen verhindert, dass relevante Informationen innerhalb der sakkadischen Suppression des nächsten Blicksprungs verloren gehen und schafft die Voraussetzung für eine genauere Verarbeitung des Stimulus in höheren kortikalen Bereichen des visuellen Systems (vgl. Reingold & Stampe, 1999). Die sofort im Anschluss an die erste Phase folgende weitere Hemmung von Sakkaden in der aktiven Bedingung spiegelt vermutlich den Einfluss solcher höheren Verarbeitungsprozesse wider.

---

Wie verschiedene Studien zum Aufmerksamkeitsblinzeln (*attentional blink* – z.B. Dux & Marois, 2009; Shapiro, Arnell & Raymond, 1997), zur psychologischen Refraktärperiode (Pashler & Johnston, 1998) und zur Geschwindigkeit von Szenenerkennung zeigen (Li, VanRullen, Koch & Perona, 2002), kann die Enkodierung visueller und auditiver Informationen innerhalb der ersten 100 ms nach Darbietung eines Stimulus erfolgen. Da die verstärkte Hemmung erst nach 130 ms auftritt, also nach Abschluss der Enkodierung des Distraktors, steht sie wahrscheinlich bereits mit kognitiven Prozessen, die für die Diskriminationsentscheidung und den Abgleich von Informationen im Arbeitsgedächtnis erforderlich sind, in Verbindung. Vermutlich hält die Unterdrückung sakkadischer Aktivität solange an, bis alle Verarbeitungsschritte abgeschlossen sind. Das Ausmaß der sakkadischen Hemmung in diesem Zeitbereich erreicht jedoch nicht die Stärke der frühen reflexhaften Komponente, was auf einen weniger effizienten Einfluss der beteiligten kortikalen Mechanismen hindeutet. Ungeklärt bleibt an dieser Stelle, über welche neuronale Mechanismen die Kontrolle von Blickbewegungen in diesem Fall implementiert wird und in welcher Beziehung diese zu den beteiligten Verarbeitungsprozessen stehen. Interessant in diesem Zusammenhang ist der Fakt, dass die Hemmung bestehen blieb, auch nachdem der Distraktorstimulus bereits wieder verschwunden ist. Dies könnte darauf hindeuten, dass ein vorzeitiger Blicksprung zu einer Störung der laufenden Verarbeitungsprozesse führen würde – möglicherweise weil das Gedächtnisengramm des Stimulus durch neuen Fixationsinput überschrieben würde – und, dass die an der Verarbeitung beteiligten kortikalen Mechanismen ebenfalls in der Lage sind, reflexiv auf Prozesse der Blicksteuerung einzuwirken.

Eine Ergänzung zu diesen Ausführungen lässt sich bei Betrachtung des Vergleichs der Häufigkeitsverteilung von visuellen Z+KD und IKD der aktiven Bedingung erzielen (Abbildung 16A). Der Unterschied in sakkadischer Aktivität, welcher die größere Fixationsdauerverlängerung für Z+KD widerspiegelt, findet sich erst im Zeitbereich ~210-290 ms nach Distraktor-onset. Dies könnte darauf hindeuten, dass die Verarbeitung des aktiven IKD (d.h. die Entscheidung *irrelevante Modalität*) erst zu diesem Zeitpunkt abgeschlossen wird. Dies könnte man dahingehend interpretieren, dass je mehr Informationsdimensionen eines Stimulus bewertet werden müssen – oder im Sinne des *Levels-of-Processing* Ansatzes ( Craik & Lockhart, 1972), je tiefer und elaborierter die Information verarbeitet werden muss – desto später lässt die hemmende Wirkung auf die Blicksteuerung nach. Wenn keine Stimulusdimension beachtet werden muss (visueller passiver Z+KD aber auch passiver IKD), dann findet sich ein Unterschied in der sakkadischen Hemmung bereits nach 130 ms. Wenn zumindest die Modalität des Stimulus bewertet werden muss (visueller aktiver IKD), lässt der hemmende Einfluss später (~210 ms) nach. Unklar ist jedoch, ob im Zeitfenster 130-210 ms bei visuellen aktiven Z+KD und IKD die gleichen Prozesse der Verarbeitung ablaufen. Die in diesem Bereich zu findende signifikante Abweichung bei ~160 ms (vgl. Abbildung 16A) – mit einem dem allgemeinen Fixationsdauerereffekt entgegengesetztem Muster, nämlich stärkere

sakkadische Hemmung für IKD – spricht dagegen. Obwohl interessant, bedürfen diese Befunde jedoch zunächst einer Überprüfung und Replikation durch weitere Studien.

Insgesamt lassen sich die Ergebnisse von Experiment 3 folgendermaßen zusammenfassen. Wird Distraktoren per Instruktion eine aufgabenspezifische Bedeutung zugewiesen, führt dies zu einer Modulation des Distraktoreffekts. Dabei ist die Wirkung jedoch spezifischer als vermutet. Erstens konnte der Effekt nur für Distraktoren der visuellen Modalität gezeigt werden und zweitens waren keine differenzierbaren Effekte zwischen Zielreiz und jeweils modalitäts-konkurrentem Distraktor nachweisbar. Die erzielten Ergebnisse widersprechen damit der Annahme eines generellen Einflusses von Relevanz auf den Distraktoreffekt und somit auch der, zur Verbindung von Distraktoreffekt und OR. Stattdessen deuten die Daten auf eine Beteiligung unterschiedlicher Ressourcen an der zentralen Verarbeitung akustischer und visueller Informationen (Wickens, 1980, 2008) hin, sowie auf Interferenzen der Verarbeitung und deren Interaktionen mit Mechanismen der Blicksteuerung vor allem dann, wenn zwei visuelle Informationen zeitgleich die selben zentralen Ressourcen beanspruchen. Aus dieser Perspektive bietet das verwendete Paradigma möglicherweise einen interessanten neuen Ansatz zur Untersuchung und Dissoziation von Verarbeitungsprozessen in *dual-task* Settings anhand eines eher impliziten Maßes der Verhaltenskontrolle, der Blickbewegungssteuerung.

Der Einfluss aufgabenspezifischer Relevanz ist nur ein Aspekt, der im Rahmen der theoretischen Erörterungen zur OR betrachtet wurde. So wird im Allgemeinen außerdem vermutet, dass es Situationen und Reize gibt, die für uns aus evolutionsgeschichtlicher Perspektive mehr oder weniger biologisch relevante Ereignisse darstellen und für die wir eine naturbedingte Bereitschaft haben, darauf in bestimmter Weise zu reagieren (Öhman, 1986). Die Wirkung solcher aus biologischer Sicht bedeutsamer Informationen auf den Distraktoreffekt soll im Folgenden betrachtet werden.

## 6.3 Emotionen – eine Form biologischer Relevanz

### 6.3.1 Emotionen und Orientierungsreaktion

Obwohl die OR ursprünglich als eine affektiv neutrale Reaktion verstanden wurde, ging – wie im vorangegangenen Kapitel herausgestellt wurde – bereits Sokolov (1963) davon aus, dass nicht alle Reizänderungen als gleich betrachtet werden können, und dass nicht allein die Neuheit des Reizes sondern auch sein Signalwert wesentlich die Ausprägung der OR modulieren. Eine weitere Perspektive für das Verständnis des Signalwerts ergab sich aus den Beiträgen der Evolutionsbiologie und -psychologie. So vermuteten Cambell, Wood und McBride (1997), dass sich die OR auf neutrale Reize aus evolutionär älteren motivationalen Basisreaktionen entwickelt haben könnte. Darunter wurden Reaktionsmuster verstanden, die es unseren frühen Vorfahren ermöglichten, auf, für das eigene Fortbestehen, wichtige Fragen wie „Ist das gefährlich?“ oder „Ist das essbar?“ angemessen zu reagieren.

Solche aus biologischer und motivationaler Sicht bedeutsamen Situationen oder Reize gehen mit komplexen Veränderungen physiologischer und psychologischer Zustände einher, die im Allgemeinen mit dem Begriff der Emotionen assoziiert sind (Dolan, 2002). Signalwert oder Signifikanz eines Reizes sowie dessen emotionale Bedeutung scheinen eng miteinander verknüpft, oder wie Öhman (Öhman, Flykt & Lundqvist, 2000 pg. 299) es formuliert: *„In many respects this function of emotions is similar to that ascribed to the orienting reflex“*. Dies konnte auch in der Forschung zur OR empirisch belegt werden. So fanden Öhman und Kollegen (1974), dass Bilder von potentiell bedrohlichen Reizen wie Spinnen und Schlangen zu größeren SCRs führten als neutrale Stimuli. Ähnliches konnten auch Wingard und Maltzman (1980), jedoch für eher emotional positive Stimuli, nachweisen. Beim Betrachten von Bildern, auf denen verschiedene Freizeitaktivitäten zu sehen waren, gingen individuell bevorzugte Aktivitäten mit größeren SCRs einher als Bilder von weniger präferierten.

Der Zusammenhang von Emotionen und OR stellt einen weiteren Zugang für die Untersuchung des Distraktoreffekts dar. Wenn tatsächlich eine Beziehung zwischen Distraktoreffekt und OR besteht, dann müsste sich auch ein Einfluss des emotionalen Inhalts eines Distraktors auf die Fixationsdauererlängerung nachweisen lassen. Für das weitere Verständnis und die Herleitung eines geeigneten Untersuchungsdesigns sollen jedoch zunächst einige grundlegende Konzepte und Befunde der Emotionsforschung dargestellt werden.

### 6.3.2 Definition und Konzepte von Emotionen

Emotionen stellen einen der am meisten untersuchten Themenbereiche der psychologischen Forschung dar. Trotz einer langen wissenschaftlichen Tradition ist bis heute nicht abschließend geklärt, welches die wesentlichen Merkmale und Dimensionen zur Beschreibung einer Emotion sind (Otto, Euler & Mandl, 2000; Plutchik, 2001). Gemäß Kleinginna und Kleinginna (1981; Übersetzung nach Otto, et al., 2000) ist eine Emotion: *"...ein komplexes Interaktionsgefüge subjektiver und objektiver Faktoren, das von neuronal/hormonalen Systemen vermittelt wird, die (a) affektive Erfahrungen, wie Gefühle der Erregung oder Lust/Unlust, bewirken können; (b) kognitive Prozesse, wie emotional relevante Wahrnehmungseffekte, Bewertungen, Klassifikationsprozesse, hervorrufen können; (c) ausgedehnte physiologische Anpassungen an die erregungsauslösenden Bedingungen in Gang setzen können; (d) zu Verhalten führen können, welches oft expressiv, zielgerichtet und adaptiv ist"*. Diese Arbeitsdefinition beinhaltet wesentliche Kernkomponenten, die dem Begriff der Emotion in der Vergangenheit zugeordnet wurden. Darüber hinaus wurde in den unterschiedlichen Konzepten zu Emotionen die Bedeutung verschiedener Aspekte stärker herausgearbeitet, wie z.B. der neurobiologischen Grundlagen (LeDoux, 1996; Panksepp, 1998), der kognitiven Bewertungsprozesse (sog. Appraisal – siehe Arnold, 1960; Lazarus, 1974; Scherer, 1993), der funktionalen (Oatley & Johnson-Laird, 1987) oder der sozialen (Averill, 1980) Aspekte.

Bereits seit Beginn der wissenschaftlichen Beschäftigung mit diesem Thema gibt es eine anhaltende Debatte dazu, ob und wie Emotionen zu kohärenten Mustern zusammengefasst werden können. Zwei grundlegende Strömungen lassen sich unterscheiden; während Vertreter des kategorialen Ansatzes das Vorhandensein einer kleinen Anzahl unterscheidbarer Basisemotionen postulieren, gehen die Befürworter des dimensionalen Ansatzes von wenigen (meist zwei bis drei) grundlegenden Dimensionen aus, anhand derer emotionales Erleben beschrieben werden kann.

#### Kategorialer Ansatz

Frühe Ansätze im Sinne einer kategorialen Einteilung von Emotionen sind bereits bei William James (1890/1950) und Charles Darwin (1872/1950) zu finden. Während James die Bedeutung des Erlebens physiologischer Veränderungen für die Entstehung einer Emotion hervorhob, verfolgte Darwin eine evolutionsbiologische Erklärung. Basierend auf Untersuchungen zur Ähnlichkeit des emotionalen Ausdrucks bei Mensch und Tier wurden von ihm erstmals Basisemotionen wie Traurigkeit, Angst, Ekel und Zorn beschrieben. Dabei verwies er nicht nur auf die Angeborenheit und Universalität dieser Reaktionsmuster, sondern auch auf deren Zweckmäßigkeit und Bedeutung für die Sicherung des Überlebens und der Erhaltung der Art. Eine Reihe weitere Klassifikationen von Basisemotionen sind seitdem vorgeschlagen worden (Ekman, 1984; Izard, 1977; Plutchik, 1980), allerdings gibt bisher kaum Einigung über die genaue Anzahl. Die meisten Theoretiker stimmen jedoch darin



überein, dass Freude, Traurigkeit, Ärger, Angst und Ekel (sowie manchmal Überraschung) dazu gehören (Niedenthal, Krauth-Gruber & Ric, 2006).

Einige der wichtigsten theoretischen und empirischen Beiträge zum Ansatz der Basisemotionen stammen aus der Forschergruppe um Paul Ekman (Ekman, 1984, 1992). Die evolutionsbiologischen Ideen Darwins aufgreifend, wurde die Annahme vertreten, dass bestimmte Basisemotionen mit angeborenen Verhaltensprogrammen im Gehirn verknüpft sind. Demnach sind Basisemotionen durch spezifisches Gefühlserleben und physiologischen Veränderungen gekennzeichnet, gehen aber immer auch mit charakteristischen Mustern im motorischen bzw. mimischen Ausdruck einher. Ein besonderer Fokus der Forschungsarbeit lag daher in der Untersuchung des emotionalen Gesichtsausdrucks. Eine wesentliche Leistung bestand in der Entwicklung eines physiologisch orientierten Systems zur Klassifikation emotionaler Gesichtsausdrücke, des sogenannten *Facial Action Coding System* (Ekman & Friesen, 1978). Auf empirischer Seite konnten die Ideen durch zahlreiche Untersuchungen gestützt werden (für einen Überblick siehe Matsumoto, Keltner, Shiota, O'Sullivan & Frank, 2008), wobei u.a. die kulturübergreifende Erkennbarkeit emotionaler Gesichtsausdrücke (Ekman, et al., 1987; Matsumoto & Ekman, 1989) oder die Expression von Emotionen bei Neugeborenen (Camras, Malatesta & Izard, 1991) betrachtet wurden. Im Rahmen dieser Forschung entstanden Stimulusmaterialien, die bis heute für die experimentelle Untersuchung von Emotionen eingesetzt werden. Im visuellen Bereich sind dies zumeist fotografische Abbildungen unterschiedlicher emotionaler Gesichtsausdrücke, wobei die *Pictures of Emotional Affect* von Ekman und Friesen (1979) und *The Karolinska Directed Emotional Faces – KDEF* (Lundqvist, Flykt & Öhman, 1998) zu den bekanntesten und am meisten verwendeten Bilderdatenbanken zählen.

### Dimensionaler Ansatz

Im Gegensatz zu kategorialen Ansätzen postulieren die Vertreter der (Multi)dimensionalen Ansätze, dass Emotionen entlang weniger – meist zweier – übergeordneter Merkmalsdimensionen beschrieben werden können. Erste Überlegungen hierzu finden sich bereits bei Wundt (1896), wonach Grundformen der Gefühle durch die Dimensionen Lust/Unlust, Erregung/ Beruhigung und Spannung/Lösung charakterisiert werden können. Einen wesentlichen Beitrag zur Entwicklung dimensionaler Ansätze lieferten auch die Arbeiten zur affektiven Struktur der englischen Sprache (Osgood, Suci & Tannenbaum, 1957). Mit Hilfe der Methode des semantischen Differential und faktoranalytischer Verfahren konnten die Autoren aufzeigen, dass der Hauptanteil der Varianz bei der semantischen Bewertung von Eigenschaftswörtern durch drei Faktoren erklärt wird. Eine Faktordimension beschrieb die implizite Bedeutung eines Wortes im Kontinuum von angenehm bis unangenehm und wurde als *Hedonic Valence* bezeichnet. Eine zweite Dimension wurde *Arousal* (Erregung) genannt und charakterisierte den Parameter der Aktivierung mit den Polen „unerregt“ und

„hocherregt“. Eine dritte faktoranalytisch relevante Dimension schien die Beschreibung von Macht und Dominanz widerzuspiegeln.

Eine Reihe verschiedener Ansätze zur dimensionalen Beschreibung von Emotionen sind seitdem entwickelt worden. Die Mehrzahl basiert auf einer zweifaktoriellen Struktur (Lang, Bradley & Cuthbert, 1990; Russel, 1980; Watson & Tellegen, 1985). Obwohl einzelne Forschergruppen unterschiedliche Begriffe für die Merkmalsdimensionen verwendeten, sind sie sich konzeptionell doch recht ähnlich. Grundsätzlich gehen diese Modelle davon aus, dass jeder emotionaler Zustand (z.B. freudig, traurig, ärgerlich) danach beurteilt werden kann, wie angenehm oder unangenehm er ist und wie aktivierend oder deaktivierend er erlebt wird. Eine wichtige Quelle für die Entwicklung dimensionaler Ansätze lieferten dabei auch Studien zum motivierten Verhalten bei Tieren. Dieses kann durch zwei grundlegende Parameter – Richtung und Intensität – gekennzeichnet werden (Hebb, 1949). Das eigene Überleben begünstigende Reize, wie Nahrung, Fortpflanzung und Nachwuchs, führen zu Annäherung an das auslösende Ereignis. Bedrohliche Reize hingegen gehen mit Rückzug, Flucht oder Vermeidung einher. Beide Verhaltenstendenzen (Annäherung/Vermeidung) können durch unterschiedlicher Stärke, Geschwindigkeit und Durchsetzungswillen gekennzeichnet sein (vgl. Bradley & Lang, 2008).

Diese Überlegungen finden sich auch in den Modellen zur motivationalen Struktur affektiven Verhaltens wieder (Bradley, Codispoti, Cuthbert & Lang, 2001; Lang, et al., 1990). Demnach werden Emotionen durch zwei motivationale Systeme im Gehirn gesteuert; ein auf Annäherung (*appetitive*) ausgerichtetes System reguliert Verhalten im Kontext von Nahrungssuche, Nachwuchspflege und sexuellem Antrieb und ein auf Vermeidung (*aversive-defensive*) orientiertes System vermittelt Flucht- oder Kampfreaktionen im Kontext bedrohlicher Situationen. Es wird vermutet, dass die beiden Systeme evolutionsgeschichtlich sehr alte und über verschiedene Spezies hinweg vorkommende Funktionsmuster abbilden, die sich entwickelt haben, um adaptive und lebenserhaltende Verhaltensweisen im Fall von bedrohlichen oder überlebenswichtigen Situationen zu vermitteln. Auf neuronaler Ebene sind sie durch Netzwerke in subkortikalen und kortikalen Bereichen des Gehirns repräsentiert, wobei sie auf die gleichen Strukturen des autonomen und somatischen Nervensystems zugreifen, um Aufmerksamkeitsprozesse zu lenken und entsprechend angepasstes Verhalten effizient regulieren zu können (Davis, 1997; Fanselow, 1994; Lang & Davis, 2006; LeDoux, 2000). Die Aktivierung eines motivationalen Systems geht dabei mit kortikalen, autonomen und Verhaltensreaktionen unterschiedlicher Ausprägung einher. Auf deskriptiver Ebene kann die Wirkungsweise der beiden motivationalen Systeme hinreichend durch die zwei Dimensionen Valenz und Arousal beschrieben werden. Dabei gibt Valenz darüber Aufschluss, welches motivationale System involviert war – und damit ob ein Stimulus oder eine Aufgabe als angenehm (*appetitive*) oder unangenehm (*aversive*) erlebt wurde – und Arousal beschreibt, wie stark das System aktiviert wurde.

Die grundlegenden Überlegungen des Ansatzes konnte durch zahlreiche empirische Untersuchungen untermauert werden, wobei sowohl verschiedene emotionale Auslösebedingungen als auch unterschiedliche Reaktionsebenen in Betracht gezogen wurden. So entwickelten die Autoren Stimulusmaterialien zur Auslösung emotionaler Reaktionen auf der Basis von Wörtern (Bradley & Lang, 1999a), Texten (Bradley & Lang, 2007), akustischen Klängen (Bradley & Lang, 1999b) und Bildern (Lang, Bradley & Cuthbert, 2005). Für vergleichbare emotionale Inhalte in den verschiedenen Stimulussets ergaben sich äquivalente Muster der Bewertung entlang der Dimensionen Valenz und Arousal. Wiederholt zeigte sich, dass positiv und negativ bewertete Stimuli zwei unterscheidbare Cluster bilden, die nach Meinung der Autoren die unterschiedliche Aktivität der zugrunde liegenden motivationalen Systeme (*appetitive* vs. *defensive*) widerspiegeln (Bradley & Lang, 2008). Die Ideen erlangten weitere Bestätigung durch Studien, die zeigten, dass die Varianz in den Bewertungsdimensionen auch mit differenzierbaren Reaktionen in verschiedenen psychophysiologischen Systemen (Hautleitfähigkeit, Pupillengröße, Herzrate) und Parametern des motorischen Verhaltens wie der elektromyografischen Aktivität einhergingen (Bradley, Miccoli, Escrig & Lang, 2008; Bradley, Moulder & Lang, 2005; Lang, Greenwald, Bradley & Hamm, 1993).

In der Tradition dieser Forschungslinie entstand u.a. auch das *International Affective Picture System* – IAPS (Lang, et al., 2005), welches zu den am häufigsten verwendeten Stimulusmaterialien zur Induktion von Emotionen im visuellen Bereich zählt. Es beinhaltet mehr als 1000 fotografische Abbildungen von verschiedenen menschlichen Erfahrungen z.B. mit Objekten, Tieren, Pflanzen, Gewalt, Erotik und anderen mehr oder weniger affektiv gefärbten alltagsnahen Situationen. Jedes Bild wurde mit einem standardisierten, sprachfreien Verfahren, dem sogenannten *Self-Assessment-Manikin* (SAM – Bradley & Lang, 1994), von einer großen Stichprobe hinsichtlich des beim Betrachten erlebten Empfindens von Valenz und Arousal bewertet. Diese Normierung ermöglicht es heutigen Forschern, Bilder für die Untersuchung visuell evozierter Emotionen so auszuwählen, dass Richtung und Ausmaß der involvierten motivationalen Systeme und des subjektiven Empfindens (Valenz und Arousal) entsprechend der Fragestellungen kontrolliert werden können.

### 6.3.3 Verarbeitung von Emotionen im Gehirn

Ein weiterer wichtiger Aspekt für das Verständnis und die Funktionsweise von Emotionen ist die Frage, welche Regionen im Gehirn an der Verarbeitung affektiver Stimuli beteiligt sind und wie diese miteinander interagieren. Der Einsatz bildgebender Verfahren wie der funktionellen Magnetresonanztomografie (fMRT) und der Positronen-Emissions-Tomografie (PET) hat zu genaueren Erkenntnissen der dabei involvierten kortikalen und subkortikalen Strukturen des menschlichen Gehirns geführt. Wie eine Metaanalyse der zahlreichen Befunde aus den letzten Jahren zeigte, lassen sich für die verschiedenen untersuchten Emotions-

kontexte sowohl überlappende als auch divergierende Muster der Aktivierung finden (Murphy, Nimmo-Smith & Lawrence, 2003), die jedoch über fast alle Bereiche des Gehirns verteilt sind. In einer weiteren Metaanalyse wurde deshalb versucht, die spezifischen Auslösebedingungen wie Modalität und Art der Emotion zu kontrollieren (Phan, Wager, Taylor & Liberzon, 2004). Über alle Studien hinweg zeigte sich kein übergreifendes Muster der Aktivierung, was darauf hindeutet, dass Emotionen nicht durch ein spezifisches Zentrum im Gehirn vermittelt werden. Es gibt jedoch eine Reihe von Regionen, die mit hoher Wahrscheinlichkeit während der Verarbeitung einer emotionalen Episode aktiviert sind. Hierzu zählen der (mediale) präfrontale Kortex (MPFC), das anteriore Cingulum (ACC) und die Inselrinde, sowie Amygdala, Hypothalamus und Basalganglien auf subkortikalem Niveau.

Von vielen Autoren wird vor allem die Amygdala als zentrale Struktur für die Verarbeitung und Bewertung emotionaler Reize und zur Steuerung adaptiver Reaktionen auf physiologischer und motorischer Ebene angesehen (Amaral, Price, Pitkanen & Carmichael, 1992; LeDoux, 1996; Panksepp, 1982). Die Amygdala verfügt über weitverzeigte afferente und efferente Verbindungen in kortikale und subkortikale Bereiche sowie in die Gebiete des Hirnstamms (Sah, et al., 2003). Während zunächst angenommen wurde, dass die Amygdala vor allem für die Verarbeitung von Furcht, Angst und Ärger von Bedeutung sei (LeDoux, 1996), belegten spätere Studien, dass auch positive Emotion mit einer gesteigerten Aktivität in der Amygdala einhergehen können (für einen Überblick siehe Phan, Wager, Taylor & Liberzon, 2002; Zald, 2003).

Es wird vermutet, dass Sinnesreize der verschiedenen Modalitäten über jeweils zwei unterschiedliche Wege im Gehirn zur Amygdala gelangen können (LeDoux, 1996). Von den Rezeptoren werden Informationen zunächst zum Thalamus weitergeleitet. Von da gibt es einen direkten – und vermutlich schnelleren – subkortikalen Pfad zur Amygdala, die sogenannte *low road*, und einen etwas langsameren, aber genaueren, Verarbeitungsweg über die primären und sekundären sensorischen Areale und andere nachfolgende Regionen des Kortex – *high road*. Es wird angenommen, dass die Verarbeitung entlang der stammesgeschichtlich älteren *low road* automatisch und unbewusst erfolgt und nur eine grobe (*quick and dirty*) Bewertung der Information erlaubt. Im Gegensatz dazu liefert die *high road* hochgradig vorverarbeitete, bereits auf aktuelle Ziele bezogene und mit Langzeitgedächtnisinhalten und Erfahrungen abgeglichene Informationen. Funktionell wird die *low road* vor allem mit der Bewertung emotionaler bzw. phylogenetisch und biologisch relevanter Reize in Zusammenhang gebracht. Dies ermöglicht es dem Organismus, potenziell bedrohliche Situationen schnell und vermutlich ohne Beteiligung des Bewusstseins zu erkennen und mit geeigneten Verhaltensweisen darauf zu reagieren. Ob Informationen, die erst im Laufe der Ontogenese emotionale Bedeutung erlangen (wie z.B. Waffen), auch über diese Route verarbeitet werden, ist bisher nicht abschließend geklärt.

---

Die Befunde von Verhaltensstudien und bildgebenden Verfahren lassen vermuten, dass die *low road* der visuellen Modalität beim Menschen von der Retina zum Superior Colliculus, weiter zum Pulvinar und dann zu den lateralen Kernen der Amygdala führt (Linke, et al., 1999; Morris, DeGelder, Weiskrantz & Dolan, 2001; Morris, Ohman & Dolan, 1999). Die Verarbeitung in der *low road* beruht dabei vor allem auf niederfrequenten Anteilen der visuellen Information (Vuilleumier, Armony, Driver, et al., 2003), die über die schnellen magnozellulären Projektion des visuellen Systems übertragen werden (Bar, 2003). Ein vergleichbarer subkortikaler Verarbeitungsweg wurde auch für die auditive Modalität nachgewiesen (Campeau & Davis, 1995; Doron & LeDoux, 1999) und existiert vermutlich ebenso in der somatosensorischen Modalität (Sah, et al., 2003). Die Steuerung emotionaler Reaktionen auf physiologischem Niveau und im Verhalten wird unter anderem mit Projektionen von der Amygdala zum Hypothalamus und zu anderen subkortikalen Regionen in Zusammenhang gebracht (Davis, 1997; LeDoux, 2000; Sah, et al., 2003). Hierdurch wird die Aktivierung des autonomen Nervensystems, die Modulation hormoneller Reaktionen sowie die Koordination geeigneter Verhaltensweisen (OR oder DR) vermittelt.

Verschiedene bildgebende Studien haben gezeigt, dass emotionsbezogene Aktivierungen der Amygdala meist von Koaktivierungen in den jeweiligen sensorischen Kortexarealen begleitet sind (Bradley, et al., 2003; Lang, et al., 1998). Im visuellen Bereich wird dies durch Projektion der Amygdala zu fast allen Ebenen der visuellen Verarbeitung im okzipitalen Kortex vermittelt (Amaral, Behniea & Kelly, 2003; Phan, et al., 2002). Die Amygdala ermöglicht daher eine direkte Modulation der visuellen Informationsverarbeitung, die mit einer intensiveren Verarbeitung und verbesserten Wahrnehmung emotional salienter Reize einhergeht. Aktuelle elektrophysiologische Studien mittels EEG zeigen, dass diese Effekte bereits 70 ms nach Stimulusdarbietung in der C1 Komponente des visuell evozierten EKPs zu finden sind (West, Anderson, Ferber & Pratt, 2011).

Weitere Gehirnstrukturen wie MPFC, ACC und Inselrinde sind wesentlich an der Verarbeitung emotionaler Informationen beteiligt. Der MPFC scheint dabei eine eher generelle Rolle für (motivationale) Bewertung, emotionale Erfahrung und Reaktionsauswahl zu spielen und hat weiterhin bedeutende Funktionen für kognitive Aspekte, im Sinne der Identifikation und des Bewusstseins einer Emotion, sowie für selbstbezogene Aspekte der emotionalen Erfahrung (Phan, et al., 2002; Phan, et al., 2004). Durch seine starken Verbindungen zu subkortikalen Gebieten wird der MPFC auch als *top-down* Modulator emotionaler Reaktionen angesehen. Dem ACC wird Bedeutung für die Regulierung emotionaler Erregung zugeschrieben (Phan, et al., 2004). Darüber hinaus scheint er außerdem eine wichtige Rolle für die Bereitstellung kognitiver Ressourcen und der Aufmerksamkeitszuwendung im Zuge der Verarbeitung emotionaler Information zu haben (Mohanty, et al., 2007). Außerdem werden dem ACC spezifische Funktionen für die Emotion „Traurigkeit“ zugesagt (Phan, et al., 2004). Die Inselrinde schließlich ist zentral für die Überwachung des körpereigenen Milieus und die Interpretation dieser Signale im Sinne subjektiver emotionaler Erfahrungen

oder Gefühle (Damasio, et al., 2000). Sie ist auch an der Entstehung von Bauchgefühlen beteiligt und gilt daher als Zentrum für das intuitive Erspüren von Gefahr oder emotionaler Relevanz (Reiman, et al., 1997). Darüber hinaus vermittelt die Inselrinde Reaktionen auf aversive Stimuli, bzw. der damit verbundenen Tendenzen von Rückzugs- und Fluchtverhalten (Phan, et al., 2004).

#### **6.3.4 Studien zum Einfluss von Emotionen auf Aufmerksamkeit und Blickbewegungen**

Im Folgenden sollen einige spezifische Ergebnisse der experimentellen Forschung auf dem Gebiet der Emotionsforschung dargestellt werden. Aufgrund der Komplexität des Gegenstands und der verschiedenen Forschungs- und Denktraditionen erhebt diese Zusammenstellung keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit. Vielmehr orientiert sie sich an Themen, die für die Herleitung und Ausarbeitung der eigenen Forschungshypothesen, sowie für die Gestaltung des experimentellen Paradigmas zur Untersuchung des Einflusses von Emotionen auf den Distraktoreffekt sinnvoll erscheinen. Bisher gibt es keine Studien, die sich explizit mit dem Einfluss von Emotionen auf den Distraktoreffekt bzw. der sakkadischen Hemmung auseinandergesetzt haben. Daher können an dieser Stelle nur generelle Befunde zum Einfluss von Emotionen auf Prozesse der Aufmerksamkeit und der Blicksteuerung dargestellt werden.

Eine der einflussreichsten Hypothesen zum Einfluss von Emotionen auf Aufmerksamkeitsprozesse ist der *threat superiority effect* (Hansen & Hansen, 1988; Öhman, Lundqvist & Esteves, 2001). Demnach haben aversive Konsequenzen vorhersagende und bedrohliche oder gefährliche Situationen abbildende Stimuli ein stärkeres Potential Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen. Unterstützung fand diese Vermutung vor allem durch Studien zur visuellen Suche. Diese zeigten, dass ärgerliche oder bedrohliche Gesichtsausdrücke schneller in einer Menge von freundlichen Gesichtern erkannt werden können als umgekehrt (Hansen & Hansen, 1988; Öhman, et al., 2001). Die Validität dieser Befunde wurde jedoch später in Frage gestellt. So wurde kritisiert (Purcell, Stewart & Skov, 1996), dass der Vorteil bedrohlicher Gesichtsausdrücke in der Studie von Hansen und Hansen (1988) vermutlich auf das Herausstechen (*pop-out*) eines spezifischen visuellen Merkmals in den verwendeten photorealistischen Abbildungen für Ärger zurückführbar war. Darüber hinaus berichteten einige Autoren auch widersprüchlich Befunde im Sinne einer besseren Suchperformanz für positive (Freude) gegenüber negativen emotionalen Gesichtern (Calvo & Nummenmaa, 2008; Juth, Lundqvist, Karlsson & Ohman, 2005). Um die methodischen Probleme photorealistischer Darstellungen zu umgehen, wurden in anderen Studien schematische Abbildungen emotionaler Gesichtsausdrücke verwendet (Horstmann & Bauland, 2006; Öhman, et al., 2001). Solche relativ einfachen Strichzeichnungen ermöglichten neben einer verbesserten Kontrolle perceptiver Merkmale außerdem die Analyse des Einflusses einzelner Gesichtsmarkmale wie Mund, Augen und Augenbrauen auf den Effekt (Lundqvist & Ohman, 2005). Obwohl neuere

---

Studien mit verbesserten photorealistischen Stimulusmaterial den *threat superiority effect*, also einen Vorteil negativer emotionaler Inhalte, bestätigen konnten (Pinkham, Griffin, Baron, Sasson & Gur, 2010), raten die Autoren aktueller Überblicksartikel zum Thema (Frischen, Eastwood & Smilek, 2008; Yiend, 2010) aufgrund der eher inkonsistenten Befundlage, die Beziehung zwischen Emotionen und Aufmerksamkeit vorsichtiger zu formulieren. Sowohl negative (Furcht und Ärger) als auch positive (Freude) emotionale Informationen können demnach schneller erkannt werden und besitzen ein höheres Ablenkungspotential als neutrale Reize.

Neben emotionalen Gesichtsausdrücken kamen in den Studien zur visuellen Suche auch andere Stimulusmaterialien zum Einsatz. Untersucht wurden sowohl Reize, die aus phylogenetischer Sicht für Menschen emotional relevante Informationen darstellen, wie z.B. Schlangen und Spinnen (Flykt, 2005, 2006; Lipp, Derakshan, Waters & Logies, 2004; Ohman, Flykt & Esteves, 2001), als auch Stimuli, deren emotionaler oder bedrohlicher Werte erst im Laufe der Ontogenese erworben wird (z.B. Waffen – vgl. Fox, Griggs & Mouchlianitis, 2007). Im Kontrast zu neutralen Objekten wie Blumen oder Pilzen, scheinen beide Klassen von Stimuli zu vergleichbaren Aufmerksamkeitseffekten zu führen. Insbesondere bei dieser Art Stimulusmaterialen besteht jedoch die Gefahr einer ungenügenden perzeptuellen Vergleichbarkeit und damit der Konfundierung der Ergebnisse durch den *pop-out* einzelner visueller Merkmale. Interessante Ansätze zur Kontrolle dieser methodischen Schwächen finden sich jedoch u.a. bei Kolassa und Kollegen (2007).

Die besondere Rolle emotionaler Informationen für die Ausrichtung und Zuwendung von Aufmerksamkeit wurde auch in anderen Paradigmen nachgewiesen. Dazu gehörten u.a. Studien zum emotionalen Stroop-Effekt, dem Attentional Blink oder Cueing-Paradigmen (für eine ausführliche Bewertung siehe Yiend, 2009). Auch hier konnte eine Modulation der Aufmerksamkeitseffekte durch negative und positive emotionale Stimuli aufgezeigt werden (z.B. Brosch, Sander & Scherer, 2007; Most, Chun, Widders & Zald, 2005; Most, Smith, Cooter, Levy & Zald, 2007)

Neben Reaktionszeitmaßen und Parametern der Entdeckungsleistung wurden in letzter Zeit auch auf die Messung von Blickbewegungen zurückgegriffen, um den Einfluss von Emotionen auf offene Aufmerksamkeitsverlagerung näher zu untersuchen (Bannerman, Milders & Sahraie, 2009; z.B. Calvo & Lang, 2004; Hermans, Vansteenwegen & Eelen, 1999; Miltner, Krieschel, Hecht, Trippe & Weiss, 2004; Mogg, Millar & Bradley, 2000). Verschiedene Studien nutzten hierfür eine Stimuluskonfiguration, bei der ein aus emotionalen und neutralen Reizen bestehendes Stimuluspaar exzentrisch (d.h. an parafovealen oder peripheren Positionen) zu einem zentralen Fixationskreuz dargeboten wurde. In den Studien von Bannermann und Kollegen (Bannerman, Milders, de Gelder & Sahraie, 2009; Bannerman, Milders & Sahraie, 2009) bestanden die Stimuli aus unterschiedlichen emotionalen Gesichtsausdrücken bzw. emotional expressiven Körperhaltungen. Die Probanden

mussten je nach Aufgabenstellung so schnell wie möglich eine Sakkade entweder zum emotionalen oder zum neutralen Stimulus machen, wobei sich kürzere SRTs für Bewegungen zur affektiven Reiz zeigten. In den Studien von Calvo und Kollegen (Calvo, Nummenmaa & Hyona, 2007, 2008; Nummenmaa, Hyona & Calvo, 2006) bestand das Stimuluspaar aus emotionalen Szenen und die Probanden mussten im Anschluss eine Wiedererkennungsaufgabe oder ein Valenzurteil abgeben. In diesem Fall beinhaltete die Aufgabe also keine Aufforderung, sich einem der beiden Stimuli explizit zuzuwenden. Es zeigte sich, dass die erste Fixation signifikant häufiger zur Position des emotionalen Reizes ging und dass die SRT des ersten Blicksprungs kürzer war, wenn dieser zum emotionalen Inhalt des Stimuluspaars ging. Kürzere SRT zum emotionalen Inhalt eines dargebotenen Stimuluspaars zeigten sich auch dann, wenn die Position des Sakkadenziels durch endogene (am zentralen Fixationskreuz) oder exogene Hinweisreize bestimmt wurde (Nummenmaa, Hyona & Calvo, 2009). Darüber hinaus fanden die Autoren auch einen Einfluss auf die Trajektorien der sakkadischen Bewegung, wenn das Sakkadenziel orthogonal zum emotionalen Stimuluspaar ausgerichtet war. Zusammengefasst verweisen die Befunde darauf, dass emotionale Informationen einen deutlichen Einfluss auf die Kontrolle okulomotorischen Verhaltens und die Geschwindigkeit und Ausrichtung offener Aufmerksamkeitsverlagerung haben.

Interessanterweise lassen sich die bereits erwähnten Experimente von Nummenmaa und Kollegen (2009) auch im Sinne der Wirkung emotionaler Information als Distraktoren betrachten. Für Fälle, bei denen ein neutraler Reiz das Ziel der Sakkade war, zeigten sich prozentual häufiger fehlerhafte Sakkaden in Richtung des emotionalen Reizes. Emotional relevante Informationen verursachen also nicht nur eine Erleichterung oder Verbesserung der Zuwendung zum emotionalen Reiz (schnellere SRTs), sondern haben auch die Eigenschaft, andere Verhaltenstendenzen in stärkerem Maße zu stören (mehr fehlerhafte Reaktionen). Dies steht im Einklang mit Vorstellungen, dass sowohl „Hinwendung zu“ (Engagement) als auch „Loslösung von“ (Disengagement) einer affektiven Information zum Effekt von Emotionen auf Aufmerksamkeitsprozesse beitragen (Fox, Russo, Bowles & Dutton, 2001; Yiend, 2010). Wie verschiedene Studien zeigen konnten, scheinen insbesondere negative emotionale Informationen ein stärkeres Potential für das Halten (Disengagement) von Aufmerksamkeit zu besitzen (Fox, Russo & Dutton, 2002; Yiend & Mathews, 2001).

Ob dieser Negativitäts-Bias emotionalen Disengagements auch einen Einfluss auf Prozesse der okulomotorischen Kontrolle im Sinne der SRT hat, wurde kürzlich von Bonifacci, Ricciardelli, Lugli und Pellicano untersucht (2008). Probanden hatten die Aufgabe, nach Auftauchen eines zentral dargebotenen farbigen Hinweisreizes den Blick so schnell wie möglich zu einem rechts oder links auftauchenden peripheren Zielreiz zu bewegen. Nach dem Erscheinen des Hinweisreizes wurden Distraktorreize mit unterschiedlicher zeitlicher Latenz (50, 100 und 150 ms) zentral am Fixationsort für 150 ms dargeboten. Diese Distraktorreize waren emotionale Gesichtsausdrücke (ärgerlich vs. neutral), wobei die Blickrichtung der Augen entweder kongruent oder inkongruent zur vorher per Hinweisreiz angegebenen



---

Zielrichtung der Sakkade sein konnte. Gemessen wurden die Treffergenauigkeit (also die korrekte Ausrichtung der Sakkade) und die SRT des Blicksprungs zum Zielreiz. Die Ergebnisse zeigten einen Effekt der Blickrichtung auf die Treffergenauigkeit. Diese war besser in der kongruenten Bedingung, jedoch unabhängig vom emotionalen Inhalt des Gesichtsausdrucks. Im Gegensatz dazu wurde die sakkadische Reaktionszeit durch den emotionalen Inhalt moduliert; bei ärgerlichen Gesichtern war die SRT signifikant verlängert, wobei der Effekt insbesondere bei inkongruenter Blickrichtung und mittlerer Onsetlatenz (100 ms) zu finden war. Die Autoren interpretierten dies als Bestätigung früherer Befunde (Fox, et al., 2002; Yiend & Mathews, 2001), also im Sinne eines stärkeren Haltens der Aufmerksamkeit am Ort des bedrohlichen emotionalen Inhalts (ärgerlicher Gesichtsausdruck) und einer damit einhergehenden Verzögerung der offenen Aufmerksamkeitsverlagerung.

Da das Versuchsdesign der Studie von Bonifacci und Kollegen (2008) deutliche Parallelen zu klassischen Untersuchungen des Distraktoreffekts (z.B. Walker, et al., 1997) aufweist, erscheint auch eine weitere Interpretationsweise möglich. So sollten die zentral dargebotenen Distraktoren zu einer generellen Verlängerung der SRT führen im Gegensatz zu Durchgängen ohne Distraktoreinfluss. Da letzteres jedoch in der Studie nicht als experimentelle Bedingung implementiert war, kann dies im Nachhinein nicht näher evaluiert werden. Die von Bonifacci und Kollegen (2008) erzielten Ergebnisse, könnten nach dieser Sichtweise jedoch als Modulation des Distraktoreffekts durch den emotionalen Inhalt des Distraktors aufgefasst werden. Bis dato bleibt dies jedoch der einzige Befund, der auf eine Modulation des Distraktoreffekts oder der sakkadischen Hemmung durch Emotionen hinweist.

## 6.4 Einfluss des emotionalen Gehalts von Distraktoren: Studie 4

### 6.4.1 Einführung

Wie die vorangegangenen Erläuterungen erkennen lassen, kann sowohl aus theoretischer wie empirischer Sicht eine Verbindung zwischen Distraktoreffekt, OR und Emotionen abgeleitet werden. So wurde vermutet, dass der OR und Emotionen ähnliche Mechanismen zur Bewertung von Reizen aus der Umwelt zugrunde liegen (Öhman, et al., 2000). Darüber hinaus wurde bereits empirisch gezeigt, dass die emotionale Bedeutung eines Stimulus die Stärke einer OR, d.h. der psychophysiologischen Reaktionen, moduliert. Weiterhin wird die Verarbeitung emotionaler Informationen mit denselben Gehirnstrukturen assoziiert, die zuvor schon für Habituationsmechanismen des Distraktoreffekts in Betracht gezogen wurden (vgl. Kapitel 5.4.4). Die Amygdala, als wesentlicher Teil dieses subkortikalen Verarbeitungspfad, wurde funktionell sowohl mit der Evaluation von Neuheit (Blackford, et al., 2010), insbesondere aber mit der Bewertung emotionaler Informationen in Zusammenhang gebracht (LeDoux, 2003; Sander, et al., 2003). Letzteres konnte in einer Vielzahl von Studien mit bildgebenden Verfahren durch stärkere Aktivierung von Regionen der Amygdala als Reaktion auf negative (wie Ärger und Furcht) und positive emotionale Inhalte (Freude) nachgewiesen werden (z.B. Costafreda, Brammer, David & Fu, 2008).

Aus diesem Zusammenhang der Verarbeitung von Neuheit und Emotionen lässt sich folgende Hypothese ableiten: Wenn die Habituation des Distraktoreffekts durch Verarbeitung von Neuheit in der Amygdala vermittelt wird, dann sollten Unterschiede der emotionalen Bedeutung (eines Distraktors), die ebenfalls mit Veränderung der neuronalen Aktivität in der Amygdala assoziiert sind, auch einen Einfluss auf den Distraktoreffekt haben. Bisher gibt es nur eine Studie, deren Befunde sich im Sinne eines Einflusses emotionaler Inhalte auf den Distraktoreffekt verstehen lassen (Bonifacci, et al., 2008). Hierbei zeigte sich eine verlängerte SRT bei zentral dargebotenen negativen im Vergleich zu neutralen Distraktoren in einem einfachen Fixieren-Springen-Paradigma. Die aktuelle Studie sollte die vorliegende Befundlage erweitern, indem auch Distraktoren mit positiv-affektivem Gehalt eingesetzt wurden. Wie schon in den vorangegangenen Untersuchungen erfolgte die Distraktordarbietung jedoch während einer freien Bildbetrachtung. Aufgrund neurophysiologischer Befunde zur Emotionsverarbeitung in der Amygdala sowie der Verhaltensdaten zum Einfluss von Emotionen auf Aufmerksamkeitsprozesse und Blickverhalten (Frischen, et al., 2008; Yiend, 2010) wurde eine größere Fixationsdauererlängerung bei Darbietung von Distraktoren mit negativem und positivem Inhalt im Vergleich zu neutralen erwartet.

Die Manipulation des emotionalen Gehalts der Distraktoren wurde in der Studie durch Verwendung emotionaler Gesichtsausdrücke umgesetzt. Emotionale Gesichter sind bereits in einer Vielzahl von Studien zur Untersuchung der neurophysiologischen Grundlagen der

---

Verarbeitung von Emotionen sowie des Zusammenhang zwischen Emotion und Aufmerksamkeit zum Einsatz gekommen (für Überblicksarbeiten siehe Frischen, et al., 2008; Palermo & Rhodes, 2007; Vuilleumier, Armony & Dolan, 2003; Yiend, 2010). Die Verarbeitung von emotionalen Gesichtsausdrücken wird als effizient, schnell und automatisch beschrieben (Palermo & Rhodes, 2007) und kann scheinbar auch ohne Beteiligung von Bewusstsein und Aufmerksamkeit erfolgen. Im Vergleich zu anderen emotionalen Stimulusmaterialien wie z.B. bedrohlichen Tieren (Spinnen und Schlangen) hat die Verwendung von Gesichtern verschiedene methodische Vorteile. Zum einen sind sie relativ einfach zu erzeugen und zum anderen bestehen Gesichtsausdrücke immer aus vergleichbaren visuellen Grundmerkmalen, unterscheiden sich daher auch in anderen optischen Eigenschaften wie Größe, Farbe und Form nur wenig. Damit sind einzelne Emotionsbedingungen (z.B. Ärger vs. Neutral) bei Gesichtern in geringerem Maße durch Unterschiede in visuellen Merkmalen konfundiert als dies beim Vergleich von Spinnen und Schlangen mit z.B. Abbildungen von Pilzen oder Blumen der Fall wäre. Von Vorteil ist weiterhin, dass bereits existierende Bilderdatenbanken mit emotionalen Gesichtsausdrücken genutzt werden können. In der vorliegenden Studie kamen Abbildungen des KDEF als Stimulusmaterial zum Einsatz (Lundqvist, et al., 1998). Diese wurden bereits mehrmals für die Untersuchung von Emotionseffekten im Verhalten und auf neurophysiologischer Ebene eingesetzt (Adolphs, et al., 2005; Calvo & Lundqvist, 2008; Critchley, et al., 2005; Lundqvist & Öhman, 2005; Schupp, et al., 2004). Außerdem existiert eine aktuelle Validierung des Bilderdatensatz hinsichtlich der abgebildeten emotionalen Inhalte (Goeleven, De Raedt, Leyman & Verschuere, 2008).

Aus methodischer Sicht sind bei der Verwendung von emotionalen Gesichtsausdrücken als Distraktorstimuli weitere Einflussfaktoren zu beachten. So gibt es eine Reihe von Studien, die sich mit Geschlechtsunterschieden bei der Erkennung emotionaler Ausdrücke in Gesichtern beschäftigt haben. In einer Mehrzahl dieser Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass Frauen schneller und genauer bei der Erkennung von Emotionen sind (Hampson, van Anders & Mullin, 2006; McClure, 2000; Montagne, Kessels, Frigerio, de Haan & Perrett, 2005; Vassallo, Cooper & Douglas, 2009). Wie aus den Ergebnissen der Studien von McBain, Norton und Chen (2009) hervorgeht, könnte dies auch auf einen generellen Vorteil der Verarbeitung gesichtsspezifischer Merkmale zurückführbar sein, denn Frauen waren auch bei Erkennungsaufgaben neutraler Gesichtsausdrücke besser.

Darüber hinaus wurde über Unterschiede in der Erkennungsleistung für bestimmte Emotionen – Freude wird meist am besten und Angst am schlechtesten erkannt – sowie über Interaktionen zwischen Beobachtergeschlecht und Emotion – in einigen Studien war die Erkennungsrate für Ärger bei Männern besser als bei Frauen – berichtet (Campbell, et al., 2002; Hampson, et al., 2006; Montagne, et al., 2005). Die Erkennungsleistung wird auch durch das Geschlecht des abgebildeten Gesichtsausdrucks beeinflusst (Hofmann, Suvak & Litz, 2006). Unabhängig von der dargestellten Emotion waren Probanden schneller im Erkennen von Gesichtern des jeweils anderen Geschlechts. Bei Verwendung

photorealistischer Darstellungen emotionaler Gesichtsausdrücke könnte daher auch das Geschlecht des abgebildeten Gesichts eine Rolle spielen.

Insgesamt deuten diese Befunde darauf hin, dass Probandengeschlecht und Geschlecht des abgebildeten Gesichts die Erkennungsleistung eines emotionalen Ausdrucks beeinflussen. Ein wesentlicher Unterschied des Distraktorparadigmas im Vergleich zu Studien zur Erkennung emotionaler Gesichtsausdrücke besteht darin, dass die Probanden die Distraktoren und somit auch den Gesichtsausdruck ignorieren sollen. Es stellt sich daher die Frage, ob bei einer solchen „unaufmerksamen“ Verarbeitung des Reizes Effekte des Geschlechts eine Rolle spielen können. Die Ergebnisse von McBain und Kollegen (2009) deuten auf sehr grundsätzliche geschlechtsspezifische Unterschiede in der Fähigkeit Gesichtsmerkmale zu erkennen hin. Allerdings ist bisher ungeklärt, ob diese durch kortikale oder subkortikale Mechanismen der Informationsverarbeitung vermittelt werden. Ein genereller Einfluss auf den Distraktoreffekt kann daher nicht ausgeschlossen werden, was eine Kontrolle der Variablen Geschlecht des Probanden und das Geschlecht abgebildeten Gesichtsausdrucks im Experiment und in der varianzanalytische Auswertung sinnvoll erscheinen lässt.

## 6.4.2 Methoden

### Stichprobe

An der Studie nahmen 42 gesunde Studenten (20 männlich) der TU Dresden im Alter von 18 bis 32 Jahren ( $M = 24.2$ ,  $SD = 3.1$ ) teil. Alle Teilnehmer verfügten über normales oder mittels Brille korrigiertes Sehvermögen.

### Aufbau und Geräte

Für die Untersuchung kam der in Kapitel 4.2 dargestellte Systemaufbau zu Verwendung. Blickbewegungen wurden mit dem Eyelink 1000 System erhoben. Die Messung erfolgte monokular am rechten Auge mit einer Abtastrate von 500 Hz und wurde im *Remote*-Modus durchgeführt.

### Stimulusmaterial

Als Material für die freie Bildbetrachtungsaufgabe wurden 88 Abbildungen von Gemälden genutzt (vgl. Kapitel 4.1). Die Distraktoren waren Gesichter aus dem Bildersatz des KDEP (Lundqvist, et al., 1998). Aus dem Datensatz kamen jeweils 10 Frontalansichten neutraler, ärgerlicher und freudiger Gesichtsausdrücke zum Einsatz, wobei für jede Kategorie Bilder von fünf männlichen und fünf weiblichen Darstellern ausgewählt wurden und keiner der Darsteller in den Emotionskategorien doppelt vorkam. Die Auswahl erfolgte anhand der von Goeleven und Kollegen (2008) ermittelten Ratings zur Klassifikation der im KDEP

dargestellten Emotionen. Es wurden die Gesichtsausdrücke verwendet, welche am eindeutigsten als neutral, freudig und ärgerlicher bewertet wurden<sup>4</sup>. Um physische Unterschiede in den Abbildungen (z.B. durch Haarfarbe und Frisur) zu vermeiden, wurden die Gesichter entlang der Gesichtskontur und der Haarlinie ovalförmig ausgeschnitten. Die Größe der so entstandenen Gesichtsabbildungen betrug max. 135 x 105 Pixel. Die Abbildungen der Gesichter wurden farbig dargeboten.

### Versuchsablauf

Während der Durchführung saßen die Probanden in einem leicht beleuchteten Laborraum. Sie hatten die Aufgabe, eine Reihe von Bildern zu betrachten, um im Anschluss an jedes Bild eine Wiedererkennungsaufgabe zu lösen (vgl. Kapitel 4.1). Die Probanden waren über die zusätzliche Darbietung von Distraktorreizen informiert, wurden aber instruiert, diese zu ignorieren. Zu Beginn des Experiments fanden zwei Übungsdurchgänge statt, um sich mit dem Ablauf des Experiments vertraut zu machen. Innerhalb des experimentellen Teils wurden 88 Bilder gezeigt. Nach der Hälfte der Bilder erfolgte eine kurze Pause.

In jedem Bild wurden 6 Distraktoren dargeboten. Die Abfolge der Distraktoremotionen war pseudozufällig, d.h. erfolgte anhand vorher definierter Sequenzen mit ausgewogener Anzahl von Emotionsdarbietungen pro sequenzieller Position innerhalb des Bildes und über das gesamte Experiment hinweg. Die Variation des Distraktorgeschlechts erfolgte innerhalb der Bilder und über die Bilder hinweg alternierend.

### Datenanalyse

Von den insgesamt 42 Probanden mussten zwei von der Datenanalyse ausgeschlossen werden; bei einer Versuchsperson gab es Probleme mit der Datenaufzeichnung, eine weitere zeigte ein nicht instruktionsgerechtes Verhalten im Hinblick auf die Distraktoren. Die Bereinigung und Aggregation der Blickbewegungsdaten vor der varianzanalytischen Auswertung folgte dem in Kapitel 4.4 beschriebenen Vorgehen mit der Ausnahme, dass eine Distraktorpräsentation nur dann als gültig anerkannt wurde, wenn der Distraktor und damit der Gesichtsausdruck vollständig im Darstellungsbereich des Bildschirms abgebildet war.

Die Auswertung der Differenzwerte der Fixationsdauer erfolgte mittels einer Varianzanalyse für Messwiederholung mit den Innersubjektfaktoren *Block*, *Distraktornummer*, und *Emotion* und dem Zwischensubjektfaktor Probandengeschlecht. Der 4-fach gestufte Faktor *Block*

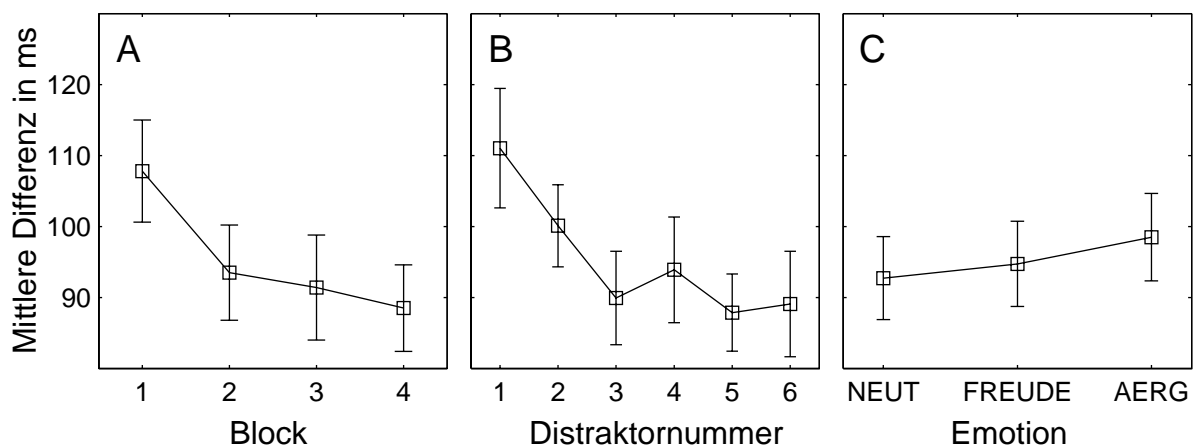
---

<sup>4</sup> KDEF-Bildcodes der verwendeten Abbildungen für neutrale Gesichter: am01nes, am10nes, am11nes, am13nes, am31nes, af05nes, af06nes, af13nes, af19nes, af29nes; Codes für Freude: am07has, am22has, am25has, am26has, am32has, af11has, af21has, af26has, af33has, af34has; Codes für Ärger: am05ans, am09ans, am17ans, am29ans, am30ans, af14ans, af20ans, af22ans, af23ans, af31ans

erfasste langsame Habituationseffekte über die Dauer des Experiments. Für jeden der vier Blöcke wurden die Daten von 22 Bildern zusammengefasst. Der Faktor Distraktornummer (6-fach) erfasste die schnelle Habituation innerhalb des Bildes und der Faktor *Emotion* die drei Stufen der Emotionsausprägung (Neutral, Freude und Ärger).

### 6.4.3 Ergebnisse

Die Analyse der Differenzwerte der Fixationsdauer ergab für den Faktor Block einen Trend in die erwartete Richtung, der jedoch das Signifikanzniveau knapp verfehlte,  $F(3,114) = 3.1$ ,  $p = .053$ ,  $\eta^2 = .07$ , sowie einen hoch signifikanten Effekt für den Faktor Distraktornummer,  $F(5,190) = 3.52$ ,  $p < .01$ ,  $\eta^2 = .08$ . Beide Effekte waren durch eine Abnahme der Fixationsdauererlängerung über die Blöcke bzw. innerhalb des Bildes gekennzeichnet (siehe Abbildung 14A und B). Bonferroni-korrigierte Einzelvergleiche ließen jedoch keine signifikanten Abweichungen zwischen den jeweiligen Stufungen der Faktoren erkennen. Der erwartete Effekt des Emotion zeigte sich nicht,  $F < 1$ , d.h. obwohl ein Trend in die vermutete Richtung, mit einem größeren Effekten für emotionale Distraktoren, zu erkennen war (siehe Abbildung 14C), unterschieden sich einzelnen Stufen nicht signifikant voneinander. Weiterhin ergab die Analyse einen Haupteffekt des Probandengeschlechts,  $F(1,38) = 4.93$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .12$ ; Frauen ( $M = 107$  ms,  $SE = 7.62$ ) zeigten im Vergleich zu Männern ( $M = 83$  ms,  $SE = 7.62$ ) eine stärkere Fixationsdauererlängerung.



**Abbildung 14:** Differenzwerte der Fixationsdauer für langsame (A) und schnelle (B) Habituation sowie in Abhängigkeit vom emotionalen Inhalt des Distraktors (C). Die Fehlerbalken kennzeichnen den jeweiligen Standardfehler.

Darüber hinaus fand sich eine signifikante Interaktionen zwischen Block und Distraktornummer,  $F(15,570) = 2.27$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .06$ , sowie zwischen Block, Distraktornummer und Emotion,  $F(30,1140) = 1.69$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .04$ . Die dreifach Interaktion zwischen Block, Emotion und Probandengeschlecht ( $F(6,228) = 2.21$ ,  $p = .06$ ), sowie die vierfach Interaktion aller Faktoren ( $F(30,1140) = 1.75$ ,  $p = .08$ ) verfehlten knapp das Signifikanzniveau. Aufgrund der Art der vorgefundenen Interaktionsmuster und der Vielzahl eingehenden Faktorstufungen ließ sich jedoch keine der beiden Interaktionen in sinnvoller Weise näher spezifizieren. Alle weiteren Interaktionen waren nicht signifikant (alle  $F$ s  $< 1.45$ ).

#### 6.4.4 Diskussion

In Studie 4 wurde untersucht, ob die Modulation des emotionalen Gehalts eines Distraktors zu einer Veränderung des Distraktoreffekts führt. Aufgrund theoretischer Vorüberlegungen und empirischer Befunde wurde angenommen, dass Distraktoren mit emotionalem Gehalt, und damit einer größeren biologischen Relevanz, zu einem stärkerem Distraktoreffekt führen sollten. Der emotionale Gehalt der Distraktoren wurde durch Verwendung von Gesichtsausdrücken der emotionalen Kategorien *Ärger*, *Freude* und *Neutral* manipuliert.

Entgegen der Annahme konnte in den Daten kein genereller Einfluss des emotionalen Gehalts eines Distraktors auf die Fixationsdauererlängerung nachgewiesen werden. Dieses Ergebnis steht im Konflikt zu früheren Befunden von Bonifacci et al. (2008), in denen über eine Modulation der SRT durch die emotionale Bedeutung zentral dargebotener Distraktoren berichtet wurde. Der vermutete Zusammenhang zwischen Distraktoreffekt und emotionaler Relevanz sowie zwischen Distraktoreffekt und OR auf allgemeiner Ebene kann damit wie bereits in Studie 3 nicht bestätigt werden. Dies bedeutet entweder, dass die postulierte Beziehung nicht existiert, oder dass sie aufgrund methodischer Einschränkungen des Paradigmas nicht nachgewiesen werden konnte. Während letzteres weiter unten noch genauer diskutiert werden muss, sollen zunächst die anderen Befunde des Experiments betrachtet werden.

Wie in den vorhergegangenen Studien zeigten sich erneut Habituationseffekte, sowohl innerhalb eines Bildes als auch über die Dauer des Experiments hinweg. Allerdings scheint die Abnahme im Vergleich zu Studie 1 (vgl. Kapitel 5.4.3) schwächer ausgeprägt. Auf deskriptiver Ebene schlägt sich dies u.a. in geringeren Effektstärken und in nichtsignifikanten Befunden der post-hoc Einzelvergleiche nieder. Im Gegensatz zu den Emotionsbefunden steht dies im Einklang mit der Interpretationsweise im Rahmen der OR. Demnach sollten bei ständig wechselnden Distraktorinhalten geringere Habituationseffekte zu erwarten sein. Eine Einschränkung dieses Erklärungsansatzes besteht jedoch darin, dass aufgrund des komplexen 4-faktoriellen Designs relativ wenig Fälle pro Bedingung in die Analyse eingingen, wodurch die statistische Power des Verfahrens eingeschränkt wird.

In den Daten zeigte sich weiterhin ein Effekt des Probandengeschlechts; bei Frauen war die distraktorinduzierte Fixationsdauererlängerung stärker ausgeprägt als bei Männern. Eine post-hoc durchgeführte Ausreißeranalyse ergab bei einer Probandin sowohl deutlich größere Fixationsdauern für Baseline- und Distraktorfixationen als auch größere Differenzwerte. Der Effekt des Probandengeschlechts blieb jedoch auch bei Ausschluss dieser Daten bestehen. Bisher sind dem Autor keine Studien zum Einfluss interindividueller Faktoren auf den Distraktoreffekt bekannt. Es bleibt an dieser Stelle unklar, ob es sich um einen stichproben-spezifischen (Zufalls-) Befund, um tatsächlich vorhandene systematische Unterschiede zwischen Männern und Frauen hinsichtlich der Responsivität auf Distraktoren oder gar um eine Interaktion zwischen den spezifischen Eigenschaften der Distraktoren (Gesichter bzw. Emotionen) und dem Probandengeschlecht handelt. Für letzteres könnten mit Einschränkungen z.B. Befunde zu Geschlechtsunterschieden bei Gesichtserkennung sprechen (McBain, et al., 2009).

Im Folgenden sollen nun eine Reihe methodischer Aspekte des verwendeten Paradigmas und ihrer möglicher Konsequenzen für die Ergebnisse diskutiert werden. Ein wichtiger Punkt stellt das verwendete Stimulusmaterial dar. Zunächst soll auf die verwendeten Distraktorstimuli eingegangen werden. Alle Gesichtsausdrücke sind dem KDEF-Bilderdatensatz entnommen und wurden daher bereits mehrfach in empirischen Untersuchungen zum Einfluss von Emotionen eingesetzt (z.B. Brassens, Gamer, Rose & Buchel, 2010; Calvo & Lundqvist, 2008; Damaraju, Huang, Barrett & Pessoa, 2009; Schupp, et al., 2004). Darüber hinaus existiert eine Validierung und Normierung des emotionalen Charakters der KDEF-Bilder, anhand derer die Stimuli ausgewählt wurden (Goeleven, et al., 2008). Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die verwendeten Stimuli generell das Potential besitzen, emotionale Reaktionen hervorzurufen.

Vergleicht man die Parameter der Distraktordarbietung der aktuellen Studie mit denen von Bonifacci et al. (2008; längere SRTs für ärgerliche Gesichter), so waren die Gesichter im vorliegenden Experiment kleiner ( $3 \times 2^\circ$  statt  $7 \times 5.5^\circ$ ) und wurden kürzer dargeboten (80 statt 250 ms). Die Größe der Distraktoren an sich scheint jedoch kein kritischer Faktor zu sein, denn in verschiedenen Studien zur visuellen Suche konnte mit vergleichbar großen Abbildungen von Gesichtsausdrücken Emotionseffekte in Trefferrate und Geschwindigkeit der Suchperformanz nachgewiesen werden (Juth, et al., 2005; Lundqvist & Öhman, 2005). Darüber hinaus wurden Effekte des emotionalen Inhalts von Gesichtern auch bei subliminalen Darbietungsdauern (also wesentlich kürzer als 80 ms) berichtet (Esteves, Dimberg & Öhman, 1994; Esteves & Öhman, 1993; Whalen, et al., 1998). Es kann jedoch an dieser Stelle nicht komplett ausgeschlossen werden, dass Größe und Darbietungsdauer zusammen zu einer Einschränkung der Wahrnehmbarkeit des emotionalen Inhalts der Distraktoren geführt haben.



---

Ein weiterer Einflussfaktor ist die Darbietungsreihenfolge der emotionalen Inhalte. Um eine Konfundierung der Emotionsdarbietung durch Positionseffekte über die Zeit des Experiments und innerhalb der Bilder zu vermeiden, wurden quasi-randomisierte Distraktorsequenzen verwendet, bei denen der Emotionsausdruck meist von einer Distraktordarbietung zur nächsten wechselte. Ein Nachteil dieses Designs sind möglicherweise *carry-over* Effekte, d.h. die Interaktion zwischen dem aktuellen und vorhergehenden emotionalen Inhalt des Distraktors, was zu einer Verfälschung (Abschwächung) der Befunde führen könnte (Esslen, Pascual-Marqui, Hell, Kochi & Lehmann, 2004). Wie jedoch die Ergebnisse von Bonifacci et al. (2008) zeigen, lassen sich sowohl mit geblockter als auch randomisierter Darbietung emotionaler Distraktoren ähnliche Effekte für eine Verlängerung der SRT erzeugen. Bisher sind emotionale *carry-over* Effekte jedoch noch nicht ausreichend erforscht, um deren Auswirkung abschließend bewerten zu können (Esslen, et al., 2004).

Ein potentieller Einflussfaktor stellt auch die Bildbetrachtungsaufgabe dar. Obwohl bei der Auswahl nur Szenen ohne eindeutig emotionalen Inhalt berücksichtigt wurden, beinhalteten die Darstellungen Personen und somit auch Gesichter. Einige dieser Gesichtsdarstellungen wiesen positive bzw. negative emotionale Züge auf. Interaktionseffekte zwischen der Verarbeitung des gerade betrachteten Bildinhalts und des plötzlich auftauchenden Distraktors, insbesondere in Bezug auf die Evaluation emotionaler Inhalte, könnten daher zu einer Modulation der Distraktorwirkung geführt haben.

In diesem Zusammenhang sind auch Befunde bildgebender und psychophysiologischer Studien interessant, die auf einen Einfluss der räumlichen Aufmerksamkeitsausrichtung und der Aufgabeninstruktion in Bezug auf die Verarbeitung emotionaler Stimuli hinweisen. Wenn die Instruktion eine explizite Evaluierung emotionaler Inhalte erforderte, führte dies zu einer geringeren Aktivierung der Amygdala im Vergleich zu Bedingungen, die eine eher passive Betrachtung (Lange, et al., 2003) oder die Beachtung anderer Stimulusmerkmale (z.B. Geschlecht des Gesichts) erforderten (Hariri, Bookheimer & Mazziotta, 2000). In der vorliegenden Studie sollten die Probanden die Distraktoren ignorieren. Daher kann davon ausgegangen werden, dass keine explizite emotionale Bewertung der Gesichter stattgefunden hat. Offen bleibt jedoch, ob das Ignorieren eines Distraktors mit passiver Betrachtung gleichgesetzt werden kann und ob dies nicht auch zu einer Unterdrückung emotionaler Bewertungsprozesse führen könnte.

Darüber hinaus stellt sich die Frage, ob aufgrund der Hauptaufgabe (Bildbetrachtung) noch genügend Ressourcen für die Verarbeitung der emotionalen Informationen des Distraktors zur Verfügung standen. Einer vergleichbaren Problemlage wurde kürzlich in einer *dual-task* Studie mittels Refraktärzeitparadigma nachgegangen (Tomasik, Ruthruff, Allen & Lien, 2009). Diese Daten deuten darauf hin, dass emotionale Inhalte in der Zweitaufgabe nicht zu einer Modulation der Performanz beitrugen, also vermutlich auch nicht verarbeitet wurden. Die Autoren interpretierten dies als Beleg dafür, dass für die Verarbeitung emotionaler

Informationen zentrale Ressourcen benötigt werden und die Ergebnisse somit gegen die Vermutung einer automatischen Verarbeitung von Emotionen sprechen. Wie jedoch in einer Folgestudie derselben Arbeitsgruppe (Shaw, Lien, Ruthruff & Allen, 2011) betont wurde, könnte dieser Befund auch darauf zurückführbar sein, dass die Probanden explizit auf die emotionale Valenz des dargestellten Gesichtsausdrucks (Freude vs. Ärger) reagieren sollten. Mit Blick auf die bereits oben dargestellten Ergebnisse (Hariri, et al., 2000; Lange, et al., 2003) könnte dies möglicherweise zu einer Unterdrückung der emotionalen Reaktion geführt haben. Es bleibt also offen, in welchem Ausmaß die Verarbeitung des emotionalen Gehalts der Distraktoren durch die Bildbetrachtung und Instruktion beeinflusst wurden.

Befunde anderer Studien weisen darauf hin, dass die Verarbeitung emotionaler Gesichter selektive räumliche Aufmerksamkeit erfordert. Werden Probanden instruiert, einen emotionalen Reiz zu fixieren, müssen aber gleichzeitig ihre Aufmerksamkeit verdeckt auf Merkmale anderer peripherer Objekte richten, dann verschwinden die Effekte emotionaler Stimuli auf die hämodynamische BOLD-Antwort in der Amygdala (Pessoa, McKenna, Gutierrez & Ungerleider, 2002). Ein ähnlicher Einfluss von Aufmerksamkeit konnte von anderen Autoren auch in Hinblick auf kortikale EKP-Komponenten beobachtet werden (Holmes, Vuilleumier & Eimer, 2003). Solche Effekte sollten im vorliegenden Experiment jedoch keine Rolle gespielt haben, da die Distraktoren an der aktuellen Fixationsposition und damit dem Ort der fokalen Aufmerksamkeitsausrichtung dargeboten wurden.

Eine methodische Besonderheit in der aktuellen Studie war, dass die Distraktoren den aktuellen Fixationsort komplett überdeckten. Es ist unklar, welche Auswirkungen dies auf den Distraktoreffekt hatte und wie Probanden in Bezug zur Hauptaufgabe (der Bildbetrachtung) damit umgegangen sind, bzw. die Instruktion, die Distraktoren zu ignorieren, umgesetzt haben. Einerseits ist vorstellbar, dass eine Tendenz bestand, den Blick beim Auftauchen des Distraktors sofort vom aktuellen Ort wegzubewegen, um eine „Unterbrechung“ der Bildbetrachtung zu vermeiden. Andererseits könnte auch ein Trend bestanden haben, am Ort zu verharren bis der Distraktor wieder verschwunden war, dann Informationen aufzunehmen und erst danach das Auge weiterzubewegen. Beides könnte zu systematischen Verzerrungen im Verhalten führen – entweder zur Verringerung oder Vergrößerung des Effekts der Fixationsdauererlängerung – und somit auch potentielle Effekte emotionaler Inhalte überdecken.

Kritisch muss an dieser Stelle angemerkt werden, dass sich aus den Befunden der Studie nicht ableiten lässt, ob die Darbietung der Distraktoren tatsächlich auch mit einer Verarbeitung emotionaler Merkmale einherging. Daher ist letztendlich unklar, ob fehlende Effekte im Blickverhalten darauf zurückzuführen sind, dass die Distraktoren zu keinem emotionalen Eindruck führten, oder dass emotionale Verarbeitung zwar stattfand, diese aber keinen Einfluss auf die Fixationsdauererlängerung hatte. In zukünftigen Studien sollte daher stärker versucht werden, eine externe Validierung der Emotionswirkung, z.B. durch zusätzliche peripherphysiologische oder elektrokortikale Parameter, zu ermöglichen.

---

Zusammenfassend lassen sich für das verwendete Paradigma keine klaren methodischen Schwächen aufzeigen, die das Ausbleiben emotionaler Effekte auf den Distraktoreffekt hinreichend erklären können. Gleichzeitig kann aber auch nicht vollständig ausgeschlossen werden, dass bestimmte Faktoren zur Abschwächung möglicher Emotionseffekte beigetragen haben. Die statistische Analyse ergab komplexe Interaktionen zwischen allen vier analysierten Faktoren, inklusive emotionaler Relevanz. Obwohl diese Interaktionen nicht sinnvoll interpretierbar sind, deuten sie möglicherweise auf zahlreiche, sich gegenseitig bedingende, Faktoren hin, die bei der Modulation des Distraktoreffekts zum Tragen kommen; weitere Einflussfaktoren sind denkbar, wie oben dargestellt wurde. Um die Frage der emotionalen Wirkung eindeutig klären zu können, scheint es daher notwendig auf Paradigmen zurückzugreifen, in denen die zuvor angesprochenen Faktoren besser kontrolliert werden können. Möglichkeiten hierfür sind z.B. die Verwendung von Fixieren-Springen-Paradigmen, bei denen die durch die Hauptaufgabe erzeugte Varianz im Blickverhalten deutlich eingeschränkt wird und in denen bereits ein Effekt emotionaler Distraktoren auf die SRT gezeigt werden konnte (vgl. Bonifacci, et al., 2008), die Verwendung von neutralerem Material für die Hauptaufgabe der Bildbetrachtung (z.B. Landschaften oder Stillleben, welche selbst keine Gesichter oder emotionale Inhalte enthalten), die Verwendung stärkerer emotionaler Distraktorreize (was beispielweise durch eine vorherige negative Konditionierung neutraler Reize erreicht werden könnte), oder das Zurückgreifen auf Probandenpopulation, die stärker auf entsprechend emotionales Material reagieren.

Letzteres legt die Untersuchung des Distraktoreffekts bei Probanden mit emotionsbezogenen klinischen Störungen wie z.B. spezifischen Angststörungen nahe. Dieser Ansatz wurde bereits in zahlreichen Studien zur Untersuchung emotionaler Aufmerksamkeitseffekte eingesetzt. Sowohl bei klinischen wie auch subklinischen Stichproben zeigte sich, dass ein Aufmerksamkeitsbias emotionaler Informationen in einem sehr frühen Stadium der Reizverarbeitung eintritt, dieser auch bei unterschwelliger Reizdarbietung zu finden ist und selbst unter der Bedingung begrenzter Aufmerksamkeitsressourcen wirksam wird (vgl. Yiend, 2010). Zwar ist die Art der Aufmerksamkeitsausrichtung auf emotionales Material bei klinischen und gesunden Stichproben vergleichbar, es gibt jedoch auch Unterschiede. Während bei gesunden Kontrollpopulationen Effekte eher erst für höhere (emotionale) Stimulusintensitäten zu erwarten sind, scheinen klinische Stichproben bei psychopathologisch relevanten angstbezogenen Reizen bereits auf geringere Intensitäten zu reagieren (Yiend, 2010). Die Untersuchung klinischer Probanden könnte daher eine fruchtbare Alternative für die genauere Bewertung emotionaler Einflüsse auf den Distraktoreffekt darstellen.

## **6.5 Einfluss emotionaler Bilderinhalte auf neutrale Distraktoren: Studie 5**

### **6.5.1 Einführung**

Entgegen der Erwartung konnte in Studie 4 keine Wirkung emotionaler Inhalte auf den Distraktoreffekt nachgewiesen werden. In der Diskussion wurde jedoch darauf aufmerksam gemacht, dass Inhalte der Bildbetrachtungsaufgabe (insbesondere Gesichter) die emotionale Verarbeitung der Distraktoren beeinflusst haben könnten. Eine Möglichkeit, diesen ungewollten Einfluss zu kontrollieren, besteht in der Verwendung von Bildmaterial mit explizit neutralem Inhalt (z. B. Landschaften). Eine zweite könnte sein, die Bildbetrachtung selbst zur Induktion von Emotionen zu nutzen. Die Untersuchungsfrage wäre dann, ob sich die Wirkung neutraler Distraktoren in Abhängigkeit vom emotionalen Kontext verändert. Aus inhaltlicher und methodischer Sicht ähnelt dieses Vorgehen den Studien zur emotionalen Modifikation des Lidschlagschreckreflexes (Startle-Reflex), deren Befunde zum besseren Verständnis kurz näher erläutert werden sollen.

Unter dem akustischen Startle-Reflex wird die reflexhafte (komplette oder teilweise) Schließung des Augenlids ca. 30-50 ms nach Darbietung eines lauten Tons oder Geräuschs verstanden (Lang, et al., 1990). Um eine solche Startle-Reaktion hervorzurufen, müssen akustische Reize mit hoher Intensität, d.h. mit einer Mindestlautstärke knapp unterhalb der Schmerzgrenze, dargeboten werden. In der Nomenklatur Sokolovs und in Abgrenzung zur OR lässt sich der Startle als Teil der Defensivreaktion betrachten und kann daher als schützende oder abwehrende Reaktion des Organismus gegen einen potentiell gefährlichen Reiz verstanden werden. Die Stärke der Startle-Reaktion ist von der Intensität des Reizes abhängig (Davis, 1984) und kann auch durch Stimulation in anderen Modalitäten ausgelöst werden (visuelle – Bradley, Cuthbert & Lang, 1990; taktile – Hawk & Cook, 1997).

In vielen Studien zum Startle-Reflex ist die Präsentation von Startle-Reizen in die Durchführung einer Hauptaufgabe eingebunden, die häufig in Form einer Bildbetrachtungsaufgabe umgesetzt wird. Dabei zeigte sich, dass emotionale Inhalte der betrachteten Szenen die Stärke der Startle-Reaktion modulierten, wobei eine Abhängigkeit von der emotionalen Valenz des gezeigten Bildes festgestellt wurde. Negative Inhalte führten im Vergleich zu neutralen Bildern zu einer Potentierung (Vergrößerung) und positive Inhalte zu einer Hemmung der Startle-Reaktion (Bradley, Codispoti, Cuthbert, et al., 2001; Bradley, et al., 1990; Hamm, Cuthbert, Globisch & Vaitl, 1997; Vrana, Spence & Lang, 1988). Die visuelle Emotionsinduktion erfolgte in den Studien dabei mehrheitlich durch Abbildungen des IAPS-Bildersatzes (vgl. Kapitel 6.3.2).

---

Bradley, Lang und Kollegen (Bradley, Codispoti, Cuthbert, et al., 2001; Lang, et al., 1990) interpretierten diese Befunde im Rahmen ihrer Theorie zur motivationalen Organisation von Emotionen. Demnach führen emotionale Reize zur Aktivierung von zwei unterschiedlichen motivationalen Reaktionssystemen (*appetitive* vs. *defensive* – vgl. Kapitel 6.3.2). Die Modulation der Startle-Reaktion ist Ausdruck der Passung zwischen dem durch die Hauptaufgabe gebahnten motivationalen Reaktionssystem und dem durch den Startle-Reiz bedingten motivationalen Reaktionsschema. Da der Startle-Reiz selbst ein aversives und bedrohendes Ereignis darstellt, kommt es zu einer Potenzierung der Reaktion, wenn der allgemeine Aufgabenkontext ebenfalls emotional negativ konnotiert ist und somit passende Reaktionsmuster bereits voraktiviert sind. Bei Bahnung des anderen motivationalen Systems durch positiv emotionale Stimuli kommt es zur Unterdrückung der Startle-Reaktion. Auf neuronaler Ebenen scheinen hierfür Verarbeitungsprozesse in der Amygdala eine wichtige Rolle zu spielen; so führten Läsionen der Amygdala zu einer Reduktion von sowohl Startle-Reaktion als auch Startle-Potenzierung (Angrilli, et al., 1996; Davis, Antoniadis, Amaral & Winslow, 2008).

Wenn ein aversiver Kontext die funktionell defensive Reaktion des Startle verstärkt, was geschieht dann bei anderen eher neutral ausgerichteten Reflexen? Dieser Frage wurde in einer Studie zur emotionalen Modulation des Beinsehenreflex (auch als T-Reflex bezeichnet) nachgegangen (Bonnet, Bradley, Lang & Requin, 1995). Dieser Reflex hat essentielle Bedeutung für die Funktionsweise des Beines beim Gehen und Stehen und ist damit abhängig von den allgemeinen Erfordernissen des jeweiligen Handlungskontextes, nicht aber von der emotionalen Ausrichtung des Verhaltens (Bonnet, et al., 1995). T-Reflex Reaktionen wurden während der Darbietung von IAPS-Bildern gemessen. Die Ergebnisse ergaben eine signifikante Modulation des T-Reflexes durch das Arousal der IAPS-Bilder. Stärkere Reaktionen zeigten sich bei Darbietung von hoch erregenden Bildern (positiver und negativer Valenz) im Vergleich zu neutralen Bildern (d.h. niedrige Arousal Werte). Eine genauere Analyse ergab, dass emotionale Valenz nur bei Bildern mit niedrigem Arousal einen modulierenden Effekt hatte; positive Bilder mit geringen Arousal führten zu kleineren Reflexreaktionen als niedrig negative. Prinzipiell bestätigten diese Daten damit die theoretischen Annahmen von Lang und Kollegen zur emotionalen Bahnung von Reflexreaktionen (Bradley, Codispoti, Cuthbert, et al., 2001; Lang, et al., 1990).

Das methodische Vorgehen zur emotionalen Modulation des Startle aufgreifend, wurde in Experiment 5 der Zusammenhang zwischen Distraktoreffekt und Emotionen untersucht, indem der affektive Inhalt der Bildbetrachtung variiert und dessen Einfluss auf die Verarbeitung neutraler Distraktoren getestet wurde. Beim Vergleich von Startle-Reaktion und Distraktoreffekt lassen sich eine Reihe von Gemeinsamkeiten finden. Beide sind abhängig von der Intensität der Stimulation, können durch Reize verschiedener Modalitäten ausgelöst werden und lassen sich durch wiederholte Darbietung habituierten (Bradley, Lang & Cuthbert, 1993). Unterschiede bestehen jedoch in der funktionalen Bedeutung für den Organismus.

Während die Startle-Reaktion im Sinne einer Abwehr auf potentiell gefährliche Reize verstanden wird, hat die Reaktion des Distraktoreffekts einen eher neutralen Charakter und dient möglicherweise der Hinwendung und Orientierung zum Reiz. Damit entspricht sie aus funktioneller Perspektive eher dem oben beschriebenen T-Reflex. Die Ergebnisse von Bonnet et al. (1995) lassen daher erwarten, dass der Distraktoreffekt weniger durch emotionale Valenz als vielmehr durch die Unterschiede im Arousal des betrachteten Bildmaterials beeinflusst wird.

Für die visuelle Induktion von Emotionen wurde wie in den Studien von Lang und Kollegen (Bonnet, et al., 1995; Bradley, et al., 1990; Lang, et al., 1990) Bilder des IAPS-Datensatz als Stimuli für die Bildbetrachtung eingesetzt. Gemäß dem zugrunde liegenden theoretischen Modell von Emotionen wird die affektive Wirkung von IAPS-Bildern durch die zwei Dimensionen – Valenz und Arousal – beschrieben (Lang, et al., 1993). Die Bewertungen eines Reizes auf beide Skalen sind jedoch nicht unabhängig voneinander. So sind IAPS-Stimuli, die als sehr unangenehm (hohe negative Valenz) oder sehr angenehm (hohe positive Valenz) wahrgenommen werden, beide auch mit hohen Werten im erlebten Arousal verknüpft. Gleichzeitig liegt es in der Natur des emotionalen Systems, dass neutrale Reize nur ein geringes Potenzial besitzen Arousal auszulösen. Eine Ausnahme dazu stellen überraschende Reize dar; diese kommen jedoch im IAPS-Bildersatz nur vereinzelt vor. Um differentielle Effekte von Arousal und Valenz auf (psycho)physiologische und Verhaltensparameter untersuchen zu können, müssen beide Faktoren bei der Auswahl der IAPS-Bilder methodisch kontrolliert werden. Die Notwendigkeit einer solchen Differenzierung wird auch gestützt durch Befunde neurophysiologischer Studien, in denen gezeigt wurde, dass Variation im Valenz- und Arousallevel mit der Aktivierung unterschiedlicher Gehirnregionen in Zusammenhang stehen (Nielen, et al., 2009; Posner, et al., 2009).

## **6.5.2 Methoden**

### Stichprobe

An der Studie nahmen 22 gesunde Studenten (10 männlich) der TU Dresden im Alter von 20 bis 32 Jahren ( $M = 23,4$ ,  $SD = 3.8$ ) teil. Alle Teilnehmer verfügten über normales oder mittels Brille korrigiertes Sehvermögen.

### Aufbau und Geräte

Für die Untersuchung kam der in Kapitel 4.2 dargestellte Systemaufbau zu Verwendung. Als Blickbewegungsmesssystem wurde das Eyelink 1000 System eingesetzt. Die Messung erfolgte binokular mit einer Abtastrate von 1000 Hz. Während der Aufzeichnung ruhte der Kopf des Probanden auf einer Kinnstütze.

### Stimulusmaterial

Als Material für die Emotionsinduktion (bei diesem Experiment gleichzeitig das Material für die freie Bildbetrachtungsaufgabe) wurden 120 Abbildungen des IAPS-Bildersatzes (Lang, et al., 2005) verwendet. Diese hatten eine Auflösung/Größe von 1024 x 768 Pixel und wurden als Graustufenbilder dargeboten. Die tatsächlichen Bildinhalte hatten jedoch unterschiedliche Bildformate, wodurch sich bei einigen IAPS-Abbildungen schwarze Randbereiche ergeben. Um eine Konfundierung von Format des Motivs und der Helligkeit der Abbildung zu vermeiden, wurden die Randbereiche durch eine randomisierte Anordnung aus Pixeln des eigentlichen Bildinhalts ersetzt und hatten damit anschließend eine vergleichbare mittlere Helligkeit wie das Bild selbst. Der verwendete Distraktorstimulus war ein blauer Kreisring (R: 0, G: 255, B: 252) mit einem Durchmesser von  $2.7^\circ$  Sehwinkel und einer Randbreite  $0.3^\circ$  Sehwinkel.

Wie weiter oben dargestellt, lässt sich emotional motiviertes Verhalten und somit auch die affektive Wirkung der IAPS-Bilder durch die beiden Dimensionen Valenz und Arousal hinreichend beschreiben (Bradley, et al., 1990; Lang, et al., 1990). Für jedes IAPS-Bild existieren Normwerte hinsichtlich der beiden Dimensionen, die in umfangreichen Studien mittels eines standardisierten Bewertungsverfahrens, des SAMs (*Self-Assessment-Manikin*), erhoben wurden (Lang, et al., 2005). Dies ermöglicht eine systematische Auswahl der IAPS-Bilder, um die Wirkung der beiden Merkmalsdimension (Valenz und Arousal) auf den Distraktoreffekt getrennt voneinander analysieren zu können. Entsprechend der Normierungsdaten wurden die IAPS-Bilder zunächst bezüglich der Ausprägung auf der Valenzdimension in die drei Klassen *negativ* (0-30 Perzentil), *neutral* (35-65 Perzentil) oder *positiv* (70-100 Perzentil) und auf der Arousaldimension in *niedrig* (0-40 Perzentil) oder *hoch* (60-100 Perzentil) eingeteilt. Nicht berücksichtigt wurden hierbei Bilder mit geringer Inter-Rater-Übereinstimmung hinsichtlich der Beurteilung von Valenz oder Arousal (d.h. wenn die Urteilervarianz mehr als 2 Standardabweichungen betrug). Zusätzlich wurde eine Reihe von Bildern aus inhaltlichen Gründen aussortiert, z.B. weil infolge Graustufendarstellung wesentliche Farbinformationen, die für eine korrekte Interpretation des Bildinhalts notwendig wären, fehlten oder weil sehr amerikanische bzw. patriotische Inhalte dargestellt waren, die von Mitteleuropäern anders bewertet werden könnten. Aus den verbleibenden Bildern wurden für jede Zelle des 3 (Valenz) x 2 (Arousal) Designs 20 Bilder so ausgewählt, dass diese hinsichtlich Bildformat und Helligkeit zu den Bildern der anderen Zellen vergleichbar waren. Durch dieses Vorgehen wurden die genannten physikalische Eigenschaften der Bilder über die Dimensionen Valenz und Arousal ausbalanciert, was notwendig war, um das Blickverhalten auf den Bildern und die Erkennbarkeit der Distraktoren (i.S. Kontrastverhältnis zwischen Distraktor und Bild) vergleichbar zu halten.

### Versuchsablauf

Während der Durchführung saßen die Probanden in einem leicht beleuchteten Laborraum. Die Probanden hatten die Aufgabe photorealistische Bilder von lebensnahen Situationen zu betrachten und hinsichtlich ihrer emotionalen Wirkung zu beurteilen. Hierfür mussten sie jedes Bild im Anschluss an die Präsentation hinsichtlich der Dimensionen Valenz und Arousal bewerten. Dazu wurden die SAM Skalen (Bradley & Lang, 1994) eingesetzt. Zu Beginn der Untersuchung wurde den Probanden der Ablauf des Experiments und die Bewertung der Bilder mittels der SAM Skalen erklärt. Um sich mit der Aufgabe vertraut zu machen, sahen sie im Anschluss drei Übungsbilder (IAPS Ankerbilder Nr. 4002, 7010, 3100 nach Lang, et al., 2005). Wie in den Experimenten zuvor, waren die Probanden instruiert, das Auftauchen plötzlicher Störreize (Distraktoren) zu ignorieren.

Innerhalb des experimentellen Durchgangs sahen die Teilnehmer 120 Bilder. Die Reihenfolge der Bilder war zufällig, jedoch dahingehend ausbalanciert, dass jede Valenz x Arousal Bedingung gleichhäufig über die Gesamtdauer des Experiments verteilt war. Dadurch sollte eine Konfundierung von Emotions- und langsamen Habituationseffekten vermieden werden. In jedem Bild wurden vier Distraktoren dargeboten (fünf Sekunden Eingewöhnzeit und blickkontingente Darbietung aller fünf Fixationen – vgl. Kapitel 4.1). Nach der Hälfte der Bilder erfolgte eine kurze Pause. Insgesamt dauerte das Experiment etwa eine Stunde.

### Datenanalyse

Die Bereinigung und Aggregation der Blickbewegungsdaten erfolgte analog dem in Kapitel 4.4 beschriebenen Verfahren. In die varianzanalytische Auswertung gingen die Messwiederholungsfaktoren Block, Distraktornummer, Valenz und Arousal ein. Der vierfach gestufte Faktor *Block* erfasste langsame Habituationseffekte über vier Blöcke, in denen jeweils die Daten von 30 Bildern zusammengefasst wurden. Der vierfach gestufte Faktor Distraktornummer erfasste schnelle Habituationseffekte der vier Distraktoren innerhalb eines Bildes. Der dreifach gestufte Faktor Valenz erfasste die emotionalen Grundstimmungen (Negativ, Neutral, Positiv) der IAPS-Bilder und der zweifach gestufte Faktor Arousal die Stärke der durch die Bilder induzierten Erregung (niedrig vs. hoch).

## **6.5.3 Ergebnisse**

### SAM-Ratings

Im ersten Schritt wurde die Validität der Emotionsinduktion überprüft. Hinsichtlich der Valenz korrelierten die SAM Ratings unserer Probanden und die Werte der IAPS-Normierung für die ausgewählten Bilder sehr hoch,  $r = .94$ ,  $p < .001$ , die Korrelation der Arousal-Werte waren mit  $r = .81$ ,  $p < .001$ , etwas geringer, aber ebenfalls noch sehr hoch. Ein t-Test für abhängige Stichproben ergab keinen Unterschied in der Valenzbewertung zwischen IAPS-

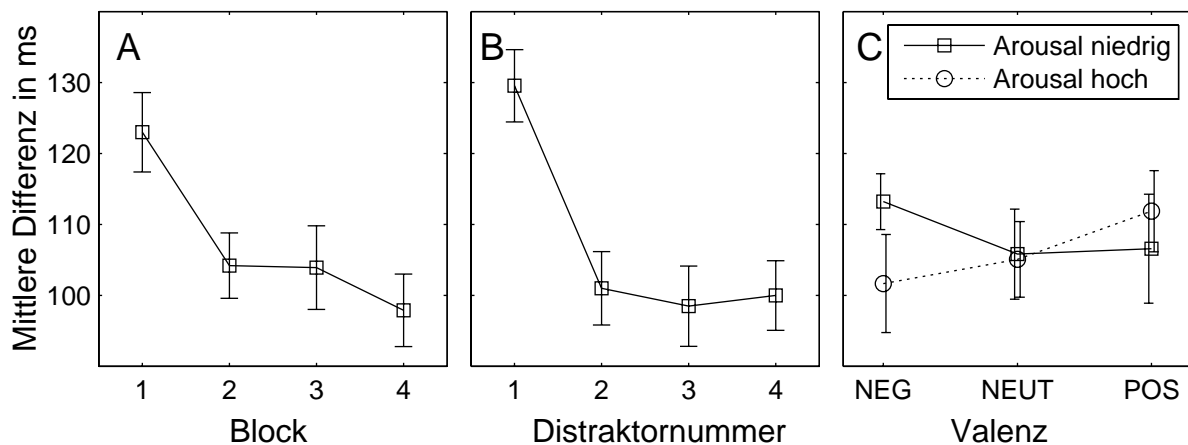


Norm ( $M = 5,10$ ,  $SD = 1,78$ ) und Experiment ( $M = 5,10$ ,  $SD = 1,52$ ),  $p = .94$ . Bei den Arousalwerten war ein höchst signifikanter Unterschied zwischen IAPS-Norm ( $M = 4,90$ ,  $SD = 1,23$ ) und Experiment ( $M = 4,46$ ,  $SD = 1,25$ ) feststellbar,  $T(119) = 6,4$ ,  $p < .001$ , d.h. die IAPS-Bilder erzeugten in der untersuchten Stichprobe ein geringeres Level an Erregung verglichen mit der Normstichprobe. Ursache hierfür könnte die Darstellung als Graustufenbild sein und damit ein Verlust wichtiger Farbinformationen für den Eindruck eines Bildes. Es sind aber auch andere Ursachen denkbar. So ist ein Großteil der Normierung bereits in den 1990-iger Jahren entstanden. Möglicherweise hat sich die Einstellung der Betrachter hinsichtlich der in den IAPS-Bildern dargestellten Motiven generell verändert (siehe auch Libkuman, Otani, Kern, Viger & Novak, 2007).

In einem weiteren Schritt wurde der Einfluss des Probandengeschlechts auf die SAM-Ratings im Experiment analysiert. Ein t-Test für abhängige Stichproben zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Probanden für die Valenzbewertung ( $p = .82$ ). Unterschiede gab es jedoch bei der Bewertung des Arousal; Frauen ( $M = 4,58$ ,  $SD = 1,44$ ) beurteilten die Bilder insgesamt als stärker erregend als Männer ( $M = 4,25$ ,  $SD = 1,24$ ),  $T(119) = 3,73$ ,  $p < .001$ . Insgesamt legen die Ergebnisse der SAM-Ratings jedoch den Schluss nahe, dass innerhalb des Experiments emotionale Reaktionen in erwarteter Weise erzeugt wurden.

### Fixationsdauererlängerung

Aufgrund der Geschlechtsunterschiede hinsichtlich der Arousalbewertung wurde zusätzlich das Probandengeschlecht als Zwischensubjektfaktor in das varianzanalytische Modell aufgenommen. Weder für den Faktor Valenz noch für den Faktor Arousal konnten signifikante Einfluss auf die Fixationsdauererlängerung nachgewiesen werden ( $F < 1$ ). Hinsichtlich der zeitlichen Veränderungen des Effekts zeigten sich höchst signifikante Haupteffekte für die Faktoren Block,  $F(3,60) = 8.17$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .29$ , und Distraktornummer,  $F(4,60) = 17.35$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .46$ . Sowohl über die vier Teilblöcke des Experiments als auch über die vier Distraktoren innerhalb eines Bildes zeigte sich eine Abnahme des Effekts (siehe Abbildung 15A und B). Wie post-hoc Vergleiche ergaben, unterschieden sich jeweils nur der erste Block von allen folgenden sowie der erste Distraktor innerhalb eines Bildes von allen weiteren innerhalb des Bildes. Ähnlich wie in Studie 4 (emotionale Distraktoren) zeigte sich ein Haupteffekt des Probandengeschlechts,  $F(1,20) = 4.89$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .19$ . Bei Frauen war die Fixationsdauererlängerung größer ( $M = 116.5$  ms,  $SE = 5.64$ ) als bei Männern ( $M = 97.9$  ms,  $SE = 6.18$ ). Keine der Interaktionen erreichte Signifikanzniveau (alle  $F_s < 1.39$ ).



**Abbildung 15:** Differenzwerte der Fixationsdauer für langsame (A) und schnelle (B) Habituation sowie die Interaktionseffekt von Valenz und Arousal der zu betrachtenden Bilder auf den Distraktoreffekt (C). Die Fehlerbalken kennzeichnen den Standardfehler des Messwerts.

#### 6.5.4 Diskussion

Die Ergebnisse von Studie 5 ergaben keinen signifikanten Einfluss der Betrachtung emotionaler Bilder auf den Distraktoreffekt. Weder Arousal noch Valenz der Bilder führten zu einer Modulation des Effekts der Fixationsdauererlängerung. Wie in den vorangegangenen Studien (vgl. Experiment 1 und 4) zeigten sich deutliche Habituationseffekte (langsam und schnell). Darüber hinaus konnte der in Studie 4 berichtete Effekt des Probandengeschlechts repliziert werden.

Wie können die fehlenden Emotionsbefunde inhaltlich bewertet werden? Zumindest aus explorativer Sicht lohnt ein Blick auf das Interaktionsdiagramm für den Effekt von Valenz und Arousal (siehe Abbildung 15C). Es zeigte sich ein ordinales Interaktionsmuster, d.h. die größten Effekte der Fixationsdauererlängerung waren für die Kombinationen aus niedrigem Arousal und negativer Valenz sowie hohem Arousal und positiver Valenz zu finden; die kleinsten Effekte hingegen für die Kombinationen von niedrigem Arousal und positiver Valenz sowie hohem Arousal und negativer Valenz. Der Effekt für Bilder mit neutraler Valenz lag auf einem eher mittleren Level und zeigte keinerlei Unterschied hinsichtlich des Arousal.

Insgesamt lässt sich dieses Muster nur schwer mit den Idee des emotionalen Bahnung von Reflexreaktionen (sensu Lang, et al., 1990) in Einklang bringen. Gemäß dieser Vorstellung wäre bei funktionell neutral ausgerichteten Reflexreaktionen am ehesten von einem Einfluss durch das Arousal der IAPS-Bilder zu rechnen. Da bei emotionalen Reizen Valenz und Arousal stark miteinander konfundiert sind (d.h. stark positiv oder negativ emotionale Reize verursachen ein höheres Ausmaß an Arousal), müssten positive und negative emotionale Reize stärkere Reaktion hervorrufen als neutrale Reize, d.h. auch ein Effekt der Valenz wäre

zu erwarten gewesen. Ist die Reflexreaktion jedoch nicht neutral, sondern wie beim Startle funktionell mit einem der motivationalen Reaktionssysteme verknüpft, dann sollte es bei einer Passung/Nichtpassung zwischen emotionalen Kontext und Reflex zu einer Potenzierung bzw. Hemmung der Reflexreaktion kommen, wobei der Faktor Arousal moderierend auf die Potenzierung/Hemmung einwirken sollte. Ein Effekt für den Faktor Valenz sowie eine Interaktion zwischen Valenz und Arousal, jedoch kein Haupteffekt des Arousals wären zu erwarten gewesen. Keines dieser hypothetischen Befundmuster lässt sich jedoch in den aktuellen Daten wiederfinden.

Überraschenderweise war der kleinste Distraktoreffekt für die Kombination von hohem Arousal und negativer Valenz zu finden. In diese Kategorie fallen besonders häufig IAPS-Bilder, die mit der Emotion Ekel assoziiert sind. Befunde von Süsskind und Kollegen (2008) deuten darauf hin, dass der expressive Ausdruck bei Ekel auf Verhaltensebene am besten als Reaktionsmuster interpretiert werden kann, bei dem es zu einer Unterdrückung der Aufnahme sensorischer Informationen aus der Umwelt und einer Abschottung vor dem Ekel verursachenden Stimulus kommt. Es besteht daher die Möglichkeit, dass der Distraktoreffekt durch Ekel in spezifischer Weise moduliert wird, z.B. indem die Fixationsdauer verlängert wird, um die Exposition mit einem ekel-erregenden Reiz zu minimieren. In einer post-hoc Analyse wurden deshalb alle Bilder ausgeschlossen, die laut IAPS-Normierung mit der Emotion Ekel assoziiert sind (insgesamt 7). Die Ergebnisse dieser Varianzanalyse bleiben jedoch vergleichbar zu den bereits berichteten, was nicht für eine spezifische Modulation des Distraktoreffekts durch Ekel auslösende Reize spricht.

Wie schon in Studie 4 zum emotionalen Inhalt der Distraktoren stellt sich die Frage, ob die Induktion von Emotionseffekten erfolgreich umgesetzt wurde. Die Wirksamkeit von IAPS-Bildern für diesen Zweck ist bereits in einer Vielzahl von Studien belegt worden (Bradley, Codispoti, Cuthbert, et al., 2001; Bradley, et al., 1990; Bradley, et al., 2008; Herrmann, et al., 2008; Rozenkrants & Polich, 2008; Weinberg & Hajcak, 2010). Im Unterschied zu diesen Untersuchungen wurden im vorliegenden Experiment die Abbildungen in Graustufen dargeboten, um eine gute Erkennbarkeit der Distraktoren zu ermöglichen (vgl. Kapitel 4.1). Gerade für die Wirkung emotionaler Inhalte könnte Farblosigkeit jedoch eine wichtige Rolle spielen. Wie die Analyse der SAM-Ratings zeigte, waren die Werte für Valenz in der untersuchten Stichprobe vergleichbar mit denen der Normstichprobe von Lang et al. (2005), die Arousalratings hingegen waren signifikant kleiner. Eine Erklärung hierfür könnten zwar die fehlenden Farbinformationen darstellen, allerdings weisen Libkuman und Kollegen (2007) darauf hin, dass die Normierungsdaten der IAPS-Bilder bereits einige Jahre alt sind und sich die Einstellung gegenüber bestimmten Motiven aufgrund einer häufigeren Präsenz in den Medien generell verändert haben dürfte. Im Allgemeinen deuten die hohen Korrelationen zwischen Normierungs- und Experimentalstichprobe bzgl. Valenz und Arousalbewertung auf eine gelungene Emotionsinduktion hin und können damit das Ausbleiben der Modulation des Distraktoreffekts durch emotionale Inhalte nicht erklären.

Die gefundenen Unterschiede in den Arousalwerten zwischen männlichen und weibliche Probanden stehen im Einklang mit Ergebnissen anderer Studien (Bradley, Codispoti, Sabatinelli & Lang, 2001; Gard & Kring, 2007), in denen für Frauen eine geringere Reaktion auf erotische Inhalte und stärker Responsivität für aversive Inhalte im Vergleich zu Männern nachgewiesen wurden. Der Befund hat jedoch keine Erklärungskraft hinsichtlich des Unterschieds im Distraktoreffekt zwischen Männern und Frauen, da hierfür in den Daten auch ein allgemeiner Effekt des Arousal hätte vorhanden sein müssen. Die Replikation des Geschlechtseffekts weist jedoch darauf hin, dass der in Studie 4 beobachtete Befund nicht unbedingt Folge der verwendeten Distraktorstimuli (Gesichtsausdrücke) war, sondern möglicherweise grundlegende geschlechtsspezifische interindividuelle Unterschiede widerspiegelt.

Zusammenfassend konnte auch in Studie 5 kein Einfluss emotionaler Verarbeitung auf den Distraktoreffekt nachgewiesen werden. Weder Valenz noch Arousal der IAPS-Bilder führten zu einer Modulation des Distraktoreffekts, d.h. im Gegensatz zu Veränderungen in psychophysiologischen Parametern wie Startle-Reflex, Pupillengröße, Hautleitfähigkeit und Herzrate, die als Folge der Betrachtung von emotionalen Bildern in der Vergangenheit berichtet wurden (Bradley, et al., 2008; Bradley, et al., 2005), zeigte sich kein Einfluss auf okulomotorisches Verhalten im Sinne einer sakkadischen Hemmung. Prozesse der Blicksteuerung scheinen also unabhängig zu sein von physiologischen Aktivierungsprozessen, die mit emotional motiviertem Verhalten vielfach in Zusammenhang gebracht wurden. Letzteres deckt sich mit Befunden von Studien, die keine Veränderung globaler Parameter des Blickverhalten, wie Fixationsdauer und Sakkadenamplitude, bei Betrachtung von IAPS-Bildern oder von neutralen Landschaftsszenen nach einer Stimmungsinduktion nachweisen konnten (Pannasch, Helmert, Roth, Herbold & Walter, 2008). Insgesamt sprechen die Befunde gegen die vermutete Beteiligung von Verarbeitungsprozessen der *low road* (Amygdala) an der Modulation des Distraktoreffekts. Dies stellt die Überlegung einer habituationsbezogenen Modulation der sakkadischen Hemmung (vgl. Studie 1) durch Verarbeitungsprozesse in diesen subkortikalen Regionen deutlich in Frage.

## **7. Einfluss der Informationsverarbeitung auf den Distraktoreffekt: Studie 6**

### **7.1 Einführung**

Bisher wurde in der Arbeit der Frage nachgegangen, wie bestimmte Merkmale der Distraktoren und des Materials der Bildbetrachtung den Distraktoreffekt beeinflussen. Im letzten Abschnitt der empirischen Untersuchungen soll darauf eingegangen werden, ob und wie die Verarbeitung eines Distraktors durch die in der Fixation stattfindenden Verarbeitungsprozesse moduliert wird. Dazu ist es zunächst notwendig zu wissen, welche Prozesse während einer Fixation stattfinden und durch welche Faktoren diese beeinflusst werden.

Erste Anätze hierzu finden sich in Ergebnissen von Untersuchungen, mit deren Hilfe versucht wurde, die große Variationsbreite von Fixationsdauer und Sakkadenamplitude im natürlichen Blickverhalten (wie dem Betrachten einer Szene) zu erklären. Dabei zeigte sich, dass verschiedene Einflüsse das Verhalten modulieren, wobei perzeptive Faktoren des Materials, wie die optische Qualität eines Bildes (Van Diepen, de Graef & d'Ydewalle, 1995; Van Diepen, Wampers & d'Ydewalle, 1998), aber auch inhaltliche Aspekte, wie der Informationsgehalt (Mackworth & Morandi, 1967), die Bedeutung einer Szene (De Graef, Christiaens & d'Ydewalle, 1990; Loftus & Mackworth, 1978), die Aufmerksamkeitsausrichtung oder der Aufgabenkontext (Brockmole & Henderson, 2006; Velichkovsky, et al., 1997), eine Rolle spielen. Beide Parameter des Blickverhaltens sind mit verschiedenen Aspekten der Verarbeitung verknüpft. Die Auswahl der jeweiligen Blickpositionen – also die Sakkadenamplitude – wird sowohl durch physikalisch saliente Merkmale in einer Szene (Itti & Koch, 2000), durch die inhaltliche Struktur und Komplexität der Szene (Mackworth & Morandi, 1967) als auch durch die Zielsetzung mit der eine Szene betrachtet wird, und damit welche Information relevant sein könnten (Einhauser, et al., 2008), bestimmt. Die Fixationsdauer wird oft als genereller Indikator für in der Fixation stattfindende Informationsverarbeitungsprozesse angesehen (Carpenter & Just, 1978; Loftus & Mackworth, 1978). Während davon ausgegangen werden kann, dass perzeptive Prozesse wie Informationsenkodierung und -registrierung sowie die Programmierung einer neuen Sakkaden innerhalb einer Fixation stattfinden und damit deren Dauer determinieren (Sanders & Houtmans, 1985), ist bisher nicht abschließend geklärt, ob auch andere, stärker zentrale Verarbeitungskomponenten, wie z.B. der Abgleich gerade enkodierter Informationen mit Inhalten des Arbeitsgedächtnisses, an das Verweilen am Fixationsort gebunden sind (Boer & Weijger, 1988; Van Duren & Sanders, 1995).

In einer Reihe von Studien wurden die Beziehung der beiden Parameter – Sakkadenamplitude und Fixationsdauer – untersucht, wobei sich nur relativ geringe Korrelationen, die zudem abhängig waren vom Aufgabenkontext, zeigten (vgl. Unema, et al., 2005). Insbesondere beim

Lesen tendierten die Zusammenhänge gegen null (Rayner, 2009). Bei genauerer Analyse des Blickverhaltens für Szenenbetrachtung ließen sich jedoch einige systematische Beziehungen und Tendenzen im Zusammenspiel der beiden Parameter aufzeigen (Tatler & Vincent, 2008). Basierend auf ähnlichen Daten wurde von Velichkovsky und Kollegen (Velichkovsky, Dornhoefer, Kopf, Helmert & Joos, 2002; Velichkovsky, et al., 2005) vermutet, dass bestimmte Blickbewegungsmuster (i.S. der Kombinationen aufeinanderfolgender Sakkaden und Fixationen) die unterschiedliche Balance der zugrunde liegenden Informationsverarbeitungsprozesse innerhalb einer Fixation widerspiegeln. Neurophysiologische Grundlage hierfür sei die Beteiligung verschiedener kortikaler Gehirnmechanismen, wobei ein Zusammenhang zu dorsalen und ventralen Bahnen des visuellen Systems (vgl. Milner & Goodale, 2008) und damit der Idee der zwei visuellen Systeme hergestellt wurde (Ingle, 1967; Milner & Goodale, 1995; Milner & Goodale, 2008; Norman, 2002; Trevarthen, 1968; Ungerleider & Mishkin, 1982).

Speziell wurde angenommen, dass das Auftreten kurzer Fixationen in Kombination mit langen Sakkaden funktionell einer schnellen Bewertung des räumlichen Layouts einer Szene diene und im engem Zusammenhang zu einem „ambient“ (sensu Trevarthen, 1968) ausgerichteten Modus der Verarbeitung stehe. Im Gegensatz dazu ermöglichen lange Fixationen, die oft in kurze Sakkaden eingebettet sind, eine fokussierte, objekt- und merkmalsorientierten Analyse des visuellen Inputs. Solche Fixationen sind daher gut geeignet für Situationen, die einen eher *fokalen*, auf Identifikation von Objekten ausgerichteten, Modus der Aufmerksamkeit erfordern.

Unterstützung fanden diese Überlegungen durch experimentellen Untersuchungen, in denen Unterschiede in der Wiedererkennungslleistung visueller Stimuli in Abhängigkeit von der Dauer einer Fixation und der Amplitude ihrer umgebenden Sakkaden bei der Erkundung realitätsnaher statischer Szenen nachgewiesen wurden (Velichkovsky, et al., 2005). Ähnliche Ideen zur funktionellen Klassifikation von Blickbewegungsmustern sind auch bei anderen Autoren zu finden (Tatler & Vincent, 2008; Wedel, Pieters & Liechty, 2008), wobei zwischen „globalen“ und „lokalen“ Formen des visuellen Abtastverhaltens unterschieden wurde. Ein weiterer Hinweis für eine Verbindung zwischen Blickbewegungen und den zwei visuellen Systemen ist bei Irwin und Brockmole (2004) zu finden. Sakkadengenerierung wird von den Autoren als Funktion des dorsalen Pfads konzeptioniert, weshalb kognitive Prozesse, die ebenfalls Funktionen des dorsalen Systems in Anspruch nehmen, wie z.B. mentale Rotation, durch das Ausführen einer Sakkade im Sinne einer *dual-task* Interferenz gestört werden.

Bisher gibt es jedoch nur Evidenz aus Verhaltensexperimenten, welche die Ideen eines Zusammenhangs zwischen Blickverhalten und spezifischen Modi der Informationsverarbeitung unterstützen. Das Anliegen der vorliegenden Studie bestand darin, zu einem besseren Verständnis der neuronalen Mechanismen, die den postulierten Informationsverarbeitungsunterschieden zugrunde liegen, beizutragen. Dazu wurde die Gehirnaktivität

während einzelner Fixationen bei freiem Blickverhalten mittels EEG untersucht. Speziell interessierte die Frage, ob die Amplitude einer Sakkade im kontinuierlichen Blickverhalten als Kriterium zur Unterscheidung von Verarbeitungsprozessen innerhalb einer Fixation herangezogen werden kann. Wenn dem so ist, sollte sich die Verarbeitung innerhalb einer Fixation je nach Art der Sakkade unterscheiden.

Um dies zu untersuchen, wurde das Distraktorparadigma (Lévy-Schoen, 1969; Pannasch, 2003; Pannasch, et al., 2001; Reingold & Stampe, 1999, 2000; Walker, et al., 1995) genutzt, da es ermöglicht, die Verarbeitung, von innerhalb einer Fixation präsentierter, kurzer Teststimuli zu analysieren. Wie bereits dargestellt, führen solche Distraktoren auf Verhaltens-ebene zu einer charakteristischen Phase der Unterdrückung von Sakkaden (Reingold & Stampe, 1999, 2000), welche auf neurophysiologischer Seite mit Mechanismen im SC in Verbindung gebracht wurde (e.g. Dorris, et al., 1997; Munoz, et al., 2000; Munoz & Istvan, 1998; Sparks, 2002). Die Daten von Studie 1 und 4 (vgl. Kapitel 5.4 und 6.2) sowie Ergebnisse weiterer Autoren (Sumner, et al., 2006) deuten jedoch darauf hin, dass die Verarbeitung von Distraktoren auf verschiedenen Ebenen im Gehirn erfolgt und subkortikale sowie kortikale Strukturen an der Hemmung sakkadischer Aktivität beteiligt sind.

Der Befund, dass kortikale Strukturen in die Verarbeitung von Distraktoren involviert sind erlaubt eine weitere Schlussfolgerung. Wenn bestimmte Blickbewegungsmuster unterschiedliche Verarbeitungsmechanismen innerhalb einer Fixation widerspiegeln (z.B. Velichkovsky et al., 2005), dann könnten solche Mechanismen auch den Distraktoreffekt modulieren. Diese Vermutung wurde kürzlich in einer Untersuchung von Pannasch and Velichkovsky (2009) getestet. Sie fanden einen deutlichen Einfluss der Amplitude der vorhergehenden Sakkade auf den Distraktoreffekt. Fixationen waren stärker verlängert, wenn die vorhergehende Sakkade innerhalb des parafovealen Blickfelds blieb, d.h. wenn die Amplitude kleiner war als  $5^\circ$  Sehwinkel im Vergleich zu Sakkaden größer als  $5^\circ$ . Die Untersuchung des Distraktoreffekts ermöglicht daher eine einzigartige Möglichkeit, Veränderungen der visuellen Informationsverarbeitung in Bezug zu spezifischen Blickbewegungsmustern zu analysieren.

Ziel der Studie war die Untersuchung der zeitlichen Dynamik distraktorbezogener Gehirnaktivität mittels fixationsbasierter EKPs in Abhängigkeit vom aktuellen Blickverhalten. Neben der vorhergehenden Sakkade wurde zusätzlich der Einfluss der nachfolgenden Sakkade, und somit des gesamten sakkadischen Kontexts einer Fixation, in die Betrachtung einbezogen. Es wurde vermutet, dass der sakkadische Kontext eine Differenzierung funktioneller Verarbeitungsunterschiede innerhalb einer Fixation ermöglicht. In Übereinstimmung mit früheren Befunden (Pannasch, Schulz & Velichkovsky, 2011; Pannasch & Velichkovsky, 2009) wurde ein Einfluss der Amplitude der vorhergehenden Sakkade auf den Distraktoreffekt erwartet. Von einem vergleichbaren Zusammenhang wurde auch für die folgende Sakkade ausgegangen. Um diese Fragestellung zu testen, wurden die Daten aus Studie 1 reanalysiert. In die Auswertung gingen nur die Daten der Bilder mit visuellen

Distraktoren und der Bilder ohne Distraktordarbietung ein, da für auditive Distraktoren kein Einfluss der Sakkadenamplitude auf die Fixationsdauererlängerung nachgewiesen werden konnte (Pannasch & Velichkovsky, 2009).

Bisher haben sich nur wenige Studien mit der parallelen Aufzeichnung von EEG/EKP und Blickbewegungen, insbesondere im Kontext blickkontingenter Stimulusdarbietung, auseinandergesetzt. Daher gibt es nur wenig Ansatzpunkte hinsichtlich erwartbarer neurophysiologischer Befunde. In Studie 1 dieser Arbeit zeigte sich eine habituationsbezogene Modulation der N1 Komponente des visuellen Distraktor-EKPs. In den Daten war außerdem eine Modulation im Zeitfenster der P2-Komponente, vor allem über zentralen Ableitpositionen, zu beobachten, welche jedoch nicht näher untersucht wurde. Auf eine Verbindung zwischen der Aktivität im P2 Zeitfenster und der Inhibition irrelevanter oder ablenkender Informationen wurde bereits von einer Reihe anderer Autoren hingewiesen (Alain, Woods & Ogawa, 1994; Freunberger, Klimesch, Doppelmayr & Holler, 2007; Kotchoubey, 2006). Sowohl Aktivität der N1 als auch der P2 Komponente liefern daher die zentralen Parameter für den elektrophysiologischen Teil der Auswertung.

## 7.2 Methoden

Da es sich bei dieser Studie um eine Reanalyse der Daten von Experiment 1 handelt, sind die entsprechenden Angaben zu Stichprobe, Aufbau und Geräten, Stimuli und dem Ablauf des Experiments in Kapitel 5.4.2 zu finden. Änderungen ergaben sich lediglich bezüglich der Strategien zur Datenauswertung, die im Folgenden dargestellt sind.

### Datenanalyse

Die Auswertung der Blickbewegungsdaten erfolgte mit SPSS 17, die Vorverarbeitung und die Analyse der EEG-Daten wurde mit der Matlab Toolbox EEELAB (Delorme & Makeig, 2004) durchgeführt. Die Daten von 4 Probanden mussten wegen technischer Probleme bei der Aufzeichnung von der Auswertung ausgeschlossen werden.

Die Bereinigung der Blickbewegungsdaten erfolgte in Anlehnung zu dem in Kapitel 4.4 beschriebenen Verfahren. Im nächsten Schritt wurden alle Fixationen entsprechend der Amplitude ihrer vorhergehenden (V) und nachfolgenden (N) Sakkade eingestuft. Als Grenzwert für diese Klassifikation wurde eine Amplitude von 4° gewählt, was konservativen Schätzungen für die Reichweite des menschlichen parafovealen Sehens entspricht (Wyszecki & Stiles, 1982). Aus dieser Einteilung der Sakkadenamplitude in kurz (K) und lang (L) resultierten vier Varianten sakkadischer Verhaltensmuster (im Weiteren als *sakkadischer Kontext* bezeichnet), in die eine Fixation eingebettet sein kann; vorher kurz – nachher kurz (VK-NK), vorher kurz – nachher lang (VK-NL), vorher lang – nachher kurz (VL-NK) und vorher lang – nachher lang (VL-NL).



---

Für jede der vier sakkadischen Kontextbedingungen erfolgte die Berechnung des Distraktoreffekts im Blickverhalten. Wie in den zuvor berichteten Studien wurde hierfür die Differenz aus den Medianen der Dauer der Distraktorfixationen und der unbeeinflussten Baselinefixationen ermittelt (jeweils zweite Fixation vor und nach der Distraktorpräsentation). In die Berechnung der Differenzwerte gingen nur Fixationen der gleichen Kontextbedingungen ein. Um eine Konfundierung durch Effekte der Neuheit (z.B. schnelle Habituationsmechanismen – vgl. Studien 1, 2, 4 und 5) zu vermeiden, gingen die Fixationsdaten des ersten Distraktors im Bild und ebenso die Fixationsdaten des abweichenden Distraktors (vgl. Studie 1) nicht mit in die Analyse ein. Die statistische Auswertung erfolgte mittels ANOVA für Wiederholungsmessung mit den zwei Faktoren vorherige Sakkade (kurz vs. lang) und nachfolgende Sakkade (kurz vs. lang).

Die Daten von vier Probanden mussten von der Auswertung der EEG-Daten aufgrund technischer Probleme bei der Aufnahme ausgeschlossen werden. Für die EKP-Analyse wurden die EEG-Daten anhand der gültigen Distraktorfixationen segmentiert. Darüber hinaus wurde eine EKP-Baseline für jede sakkadische Kontextbedingung aus allen gültigen Fixationen der 10 Bilder ohne Distraktordarbietung erstellt. Da sich diese Baseline von jener in der Fixationsdaueranalyse unterscheidet, wurden beide Baselinepopulationen auf Unterschiede in Fixationsdauer und Sakkadenamplitude der vorhergehenden und nachfolgenden Sakkade untersucht; es fanden sich jedoch keine Abweichungen in den genannten Parametern. Die Fixationen wurden verwendet, um Epochen mit einer Dauer von 2000 ms und einem Onset 800 ms vor Fixationsbeginn zu extrahieren. Segmente mit starker Muskelaktivität und anderen Artefakten wurden nach manueller Inspektion entfernt. Danach wurde mit den Daten eine *Independent Component Analysis* zur Erkennung und Entfernung weiterer Blickbewegungs- und Muskelartefakte durchgeführt. Als nächstes erfolgte eine Baselinekorrektur der Epochen anhand der Aktivität im Zeitbereich 50-250 ms vor Fixationsbeginn. Schließlich wurden die EEG-Segmente gemittelt, sodass für jede sakkadische Kontextbedingung separate EKPs für Distraktor- und Baselinefixationen entstanden.

Wie bereits in den EKP-Ergebnissen von Studie 1 dargestellt wurde, sind kurz vor und nach Beginn einer Fixation verschiedene systematische Aktivitätsmuster im EKP zu erkennen, die mit der zuvor stattgefundenen Sakkade im Zusammenhang stehen. Es ist bekannt, dass insbesondere die Lambda-Komponente, ein positives Potential etwa 100 ms nach Fixationsbeginn, durch die Amplitude der Sakkade moduliert wird (Yagi, 1979). Da sich die sakkadischen Kontextbedingungen hinsichtlich der Sakkadenamplitude unterscheiden, sind deutliche Unterschiede in den EKPs zu erwarten. Bei den Distraktor EKPs kommt es zusätzlich zu einer Vermischung mit der Aktivität der Distraktorverarbeitung. Die Berechnung eines Differenz-Potentials aus Distraktor und Baseline EKP für jede sakkadische Kontextbedingung sollte es ermöglichen, den Einfluss der Sakkaden zu entfernen und gleichzeitig die Aktivität der Distraktorverarbeitung sowie deren Modulation durch den Einfluss des sakkadischen Kontexts im Signal zu erhalten.

Eine notwendige Voraussetzung für die Angemessenheit der Differenzbildung ist, dass sich Distraktor und Baselinefixationen jeder sakkadischen Kontextbedingung nicht bezüglich der Amplitude der vorhergehenden und nachfolgenden Sakkade unterscheiden, da dies zu Unterschieden im Differenz EKP führen würde, die nicht auf die Distraktorverarbeitung per se zurückführbar sind. Die Auswahl von Fixationen anhand des Sakkadenamplitudenkriteriums ist bezüglich dieser Voraussetzung nicht kritisch. Daher wurden Baseline- und Distraktorfixationen für alle vier sakkadische Kontextbedingungen mittels gepaarter t-Tests auf Unterschiede in der vorhergehenden und nachfolgenden Sakkadenamplitude geprüft. Während für die vorhergehende Sakkade keine Unterschiede festgestellt wurden, zeigten sich, dass die nachfolgende Sakkadenamplitude der Distraktorfixationen für VK-NK und VL-NK kleiner ( $\sim 0.1^\circ$ ) war, als die der zugehörigen Baselinefixationen, beide  $p < .001$ . Obwohl unklar ist, ob diese numerisch kleinen Unterschiede tatsächlich zu einer bedeutungsvollen Abweichung im EKP führen können, müssen sie bei der Bewertung der Ergebnisse beachtet werden.

Die statistische Auswertung der EKP-Daten erfolgte für frühe Komponenten der Distraktorverarbeitung (N1 und P2). Die N1 wurde als mittlere Aktivität im Zeitbereich von 130-170 ms nach Distraktor-Onset an der Elektrodenposition O2 berechnet. Für P2 wurde ein Zeitfenster von 200-250 ms gewählt, gemittelt über Cz/Pz Elektrodenpositionen. Die Auswahl der Komponenten orientierte sich an den in Studie 1 gefundenen Ergebnissen (d.h. topografischer Ort der größten Amplituden für N1 und P2). Die statistischen Analysen erfolgten mittels ANOVA für Messwiederholung mit den beiden Faktoren vorhergehende und nachfolgende Sakkade und wurden getrennt für Baseline-, Distraktor-, und Differenz-EKP dargestellt. Ein weiteres Interesse galt den Zusammenhängen zwischen den Verhaltens-effekten (Fixationsdauerprolongation) und den neurophysiologischen Befunden im EKP. Dies wurde mittels einer Korrelationsanalyse untersucht, bei der die durch den sakkadischen Kontext induzierten Veränderungen in Verhaltens- und EKP-Komponenten einander gegenüber gestellt wurden.

## 7.3 Ergebnisse

### Blickbewegungsdaten

Tabelle 2 zeigt die gemittelten Dauern für Distraktor- und Baselinefixationen in Abhängigkeit von der Amplitude der vorhergehenden und nachfolgenden Sakkade. Die statistische Analyse der Differenzwerte mittels zweifaktorieller ANOVA für Messwiederholung ergab einen signifikanten Einfluss der vorhergehenden,  $F(1, 45) = 23.9$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .34$ , und der nachfolgenden Sakkade,  $F(1, 45) = 24.7$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .35$ , jedoch keine Interaktion der beiden Faktoren,  $F < 1$ . Beide Haupteffekte sind durch einen stärkeren Distraktoreffekt für kurze im Vergleich zu langen Sakkaden gekennzeichnet. Die stärkste Fixationsdauerprolongation zeichnete sich für die Bedingung VK-NK ab ( $M = 80.5$  ms,  $SD = 21.6$ ), mit VK-NL ( $M = 75.7$  ms,  $SD = 31.7$ ), VL-NK ( $M = 69.6$  ms,  $SD = 20.0$ ) und VL-NL ( $M = 58.2$  ms,

$SD = 23.5$ ) in absteigender Reihenfolge. Wie Bonferroni-korrigierte paarweise t-Test aufzeigen, war der Effekt für VK-NK signifikant größer im Vergleich zu VL-NK und VL-NL (beide  $p < .01$ ) und VL-NL war signifikant kleiner als alle anderen Bedingungen (alle  $ps < .015$ ).

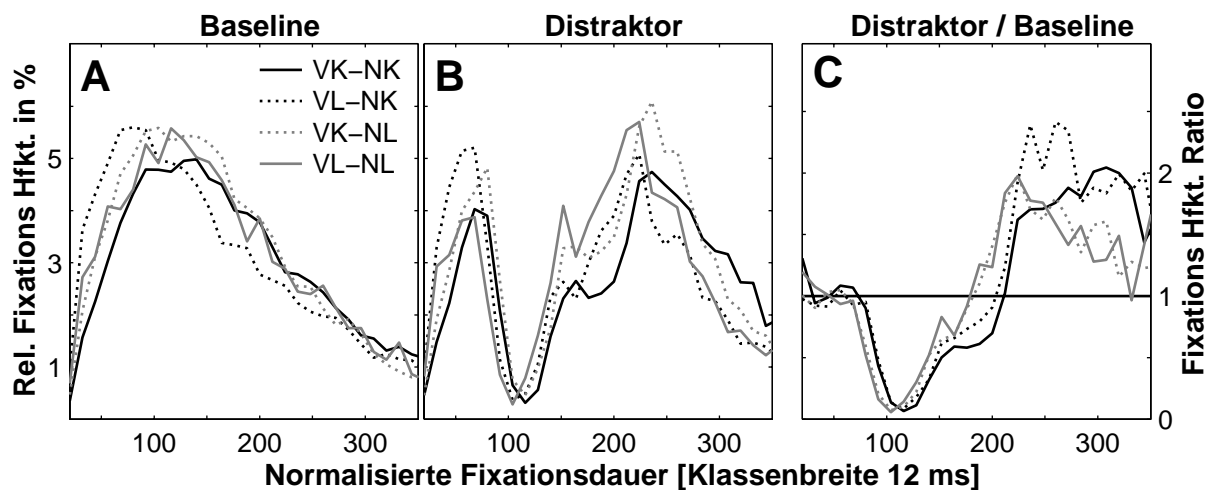
**Tabelle 2** Mittlere Fixationsdauer für Baseline und Distraktorfixationen in Abhängigkeit von der Amplitude der vorherigen und nachfolgenden Sakkade.

		Vorhergehende Sakkade			
		Kurz		Lang	
		Baseline in ms	Distraktor in ms	Baseline in ms	Distraktor in ms
Folgende Sakkade	kurz	273.8 (30.9) N = 344	354.3 (31.8) N = 173	255.5 (28.4) N = 216	325.1 (32.8) N = 118
	lang	250.2 (29.5) N = 211	326.0 (40.4) N = 106	262.7 (33.9) N = 133	321.0 (32.4) N = 69

*Anmerkungen:* Die jeweilige Standardabweichung der Fixationsdauer ist in Klammern angegeben. Die mittlere Anzahl von Fixationen pro Bedingung ist in der zweiten Zeile jeder Zelle dargestellt.

In Abbildung 16 sind die relativen Häufigkeitsverteilungen von Baseline- und Distraktorfixationen (Abbildung 16A und B) der vier sakkadischen Kontextbedingungen in Abhängigkeit von der Fixationsdauer dargestellt. Die Verteilungen wurden durch Zusammenfassung der Daten aller Probanden für jede Bedingung bei einer Klassenbreite der Fixationsdauer von 12 ms ermittelt. Durch Division von Distraktor- und Baselineverteilung erhält man normalisierte Häufigkeitsverteilung (Abbildung 16C). In dieser Darstellung bedeuten Werte von 1 auf der Ordinate einen identischen Anteil an beendeten Fixationen in der Distraktor und Baselinebedingung. Kleinere Werte entsprechen einer relativen Hemmung und größere Werte einem relativen Überschuss neuer Sakkaden in der Distraktor- gegenüber der Baselinebedingung.

Bis etwa 70 ms nach Distraktor-Onset findet sich in den Baseline- und Distraktorverteilungen der jeweiligen sakkadischen Kontextbedingungen eine vergleichbare Dynamik (Abbildung 16A und B). In den normalisierten Verteilungen ist dies durch Ratiowerte, die um 1 herum streuen, gekennzeichnet (Abbildung 16C). Im folgenden Zeitfenster (70-140 ms) zeigt sich die bereits bekannte reflexartige Phase sakkadischer Hemmung, deren Ausmaß jedoch für alle vier sakkadischen Kontextbedingungen vergleichbar ist. Erst im nächsten Zeitfenster kommt es zu einer bedeutsamen Abweichung zwischen den Verteilungen, wobei für VK-NK die hemmende Wirkung länger anhält und die Überschussreaktion somit länger verzögert wird (Abbildung 16B und C). Insgesamt, so scheint es, kommt erst in diesem Zeitfenster zur Modulation sakkadischer Aktivität, welche die zuvor berichteten Befunde der Fixationsdauer-Verlängerung erklären kann.



**Abbildung 16:** Häufigkeitsverteilungen der Fixationsdauer für Baseline- (A) und Distraktorfixationen (B) sowie das Verhältnis (Ratio) aus Distraktor und Baseline Verteilung (C) für alle vier sakkadischen Kontextbedingungen.

Abbildung 16C zeigt eine weitere Auffälligkeit, auf die bisher nicht näher eingegangen wurde. So ist die Stärke der hemmenden Reaktion im Zeitfenster 70-140 ms zwar vergleichbar groß, es lässt sich aber eine gewisse zeitliche Variabilität der Eindellung erkennen, die auf eine Modulation der Onset-Latenz der Hemmung durch den sakkadischen Kontext hindeutet. Um dies näher zu untersuchen, wurden die Daten mit einer von Reingold und Stampe (2002) entwickelten Methodik zur Schätzung der Latenz der sakkadischen Hemmung analysiert. Zunächst wurden dazu für jeden Probanden und jede Bedingung relative Häufigkeitsverteilungen mit einer zeitlichen Auflösung von 4 ms berechnet. Probanden, bei denen eine der Verteilungen aus weniger als 40 Datenpunkten bestand wurden von der weiteren Analyse ausgeschlossen, da es ansonsten zu Ungenauigkeiten bei Schätzung der Latenz kommen kann. Insgesamt wurden die Daten von 6 Probanden ausgeschlossen. Die Verteilungen der verbleibenden Probanden wurden im folgenden Schritt mit einem gleitenden Mittel über sieben Datenpunkte gefiltert (Datenglättung). Als nächstes wurden für alle Bedingungen und Probanden normalisierte Verteilungen durch Division der jeweiligen Distraktor- und Baselineverteilung berechnet. Als letztes wurden Schätzer der Latenz der hemmenden Reaktion bestimmt. Hierzu wurde in den normalisierten Verteilungen das erste Minimum im Zeitbereich von 70-140 ms nach Distraktor-Onset bestimmt. Die so erhaltenen Latenzwerte wurden mittels Varianzanalyse mit Messwiederholung über die Faktoren vorhergehende und nachfolgende Sakkade ausgewertet. Es zeigte sich kein Einfluss vorhergehenden Sakkade,  $F < 1$ , dafür aber ein signifikanter Haupteffekt der nachfolgenden Sakkade,  $F(1, 35) = 37.1$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .49$ , sowie eine signifikante Interaktion,  $F(1, 35) = 4.36$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .10$ . Der Haupteffekt der nachfolgenden Sakkade war gekennzeichnet durch größere Latenzen bei kurzen ( $M = 118$  ms,  $SD = 9.5$ ) im Vergleich zu langen ( $M = 110$  ms,  $SD = 9.4$ ) nachfolgenden Sakkaden. Wie Bonferroni-korrigierte paarweise t-Test belegen, beruht die Interaktion,

zumindest dem Trend nach, auf kürzeren Latenzen für VK-NK im Vergleich zu VK-NL ( $p = .054$ ).

### EKP-Daten

In Abbildung 17 sind die über alle Probanden gemittelten EKPs von Baseline und Distraktorfixation und deren Differenz (Distraktor minus Baseline) in Abhängigkeit vom sakkadischen Kontext für vier verschiedene Elektrodenpositionen dargestellt.

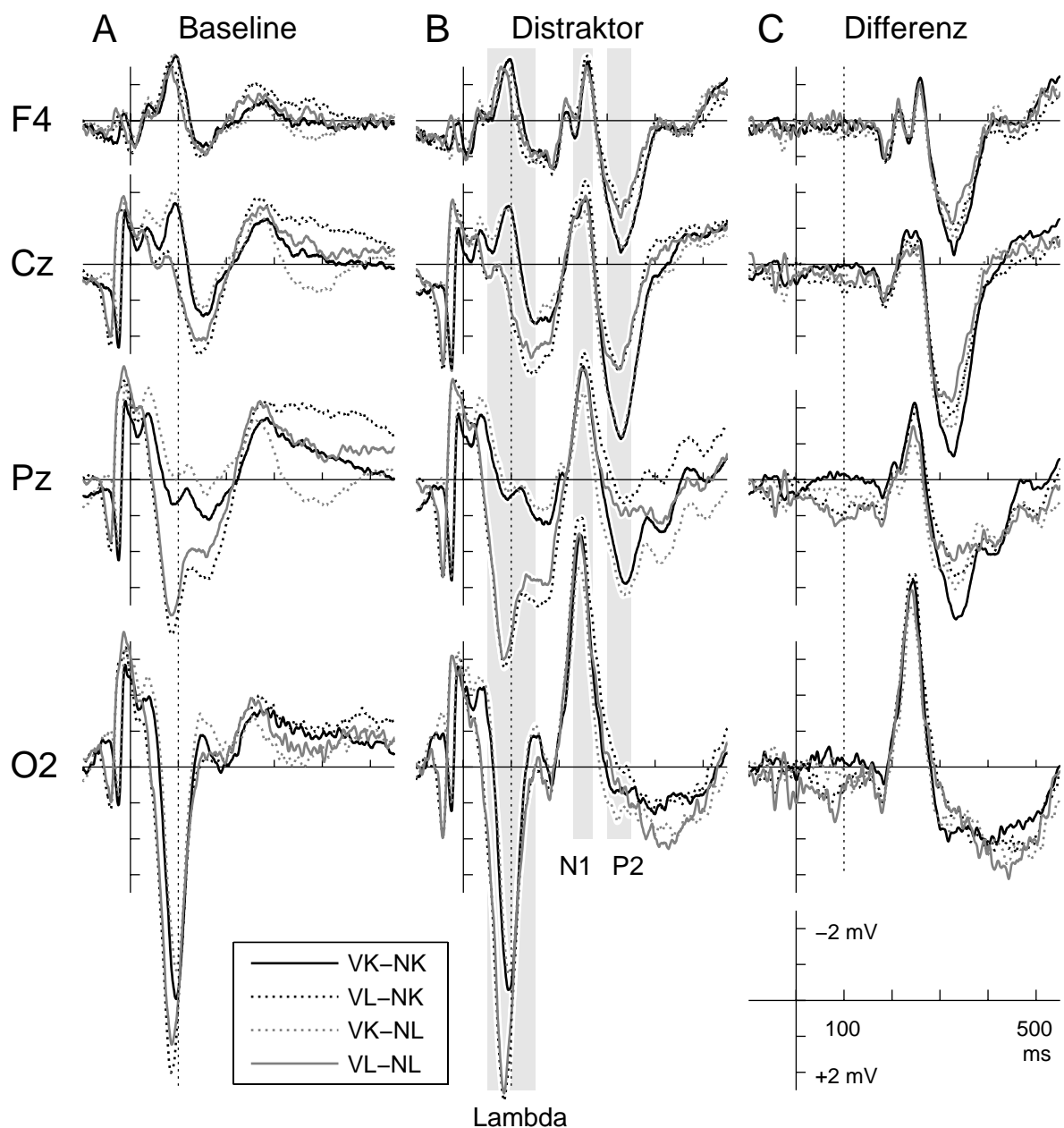
### Allgemeiner Effekt des sakkadischen Kontexts auf das EKP

Wie zu erwarten, war in den EKPs der Baselinefixationen ein deutlicher Einfluss des sakkadischen Kontexts zu finden (Abbildung 17A). Dies zeigte sich in kürzeren Latenzen und größeren Amplituden der Lambda Komponente an der Ableitposition O2, insbesondere bei langen vorhergehenden Sakkaden. Diese stärkere Positivierung bleibt an den Positionen Pz und Cz noch bis etwa 200 ms nach Fixationsbeginn bestehen. Im Zeitfenster von 300-500 ms kommt es zu einer weiteren Positivierung im EKP. Dies kann man auf zweierlei Weise interpretieren: entweder als Einfluss der vorhergehenden Sakkade, mit größerer Aktivität für kurze Sakkaden, oder im Sinne einer stärkeren Positivierung für lange im Vergleich zu kurzen nachfolgenden Sakkade.

Diese Unterschiede wurden durch statistische Analysen der Aktivierung in den Zeitfenstern der N1 (über der O2 Ableitposition) und P2 (über Cz/Pz) untermauert. Es zeigte sich ein signifikanter Einfluss der vorhergehende Sakkade auf die N1,  $F(1, 41) = 6.94$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .15$ , jedoch kein Effekt für die nachfolgende Sakkade und die Interaktion ( $F < 1.9$ ). Die N1 Aktivität war größer bei langen im Vergleich zu kurzen vorhergehenden Sakkaden (siehe Abbildung 18A). Für über Pz/Cz gemittelte P2 Aktivität ergab die Auswertung signifikante Effekte sowohl für die vorhergehende Sakkade,  $F(1, 41) = 46.3$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .53$ , als auch für die nachfolgende,  $F(1, 41) = 38.5$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .48$ , aber keinen Interaktionseffekt ( $F < 2.1$ ). Die P2 Aktivität war größer bei kurzen im Vergleich zu langen vorhergehenden Sakkaden und bei langen im Vergleich zu kurzen nachfolgenden Sakkaden (siehe Abbildung 18A).

### Effekt des sakkadischen Kontexts und der Distraktorverarbeitung auf das EKP

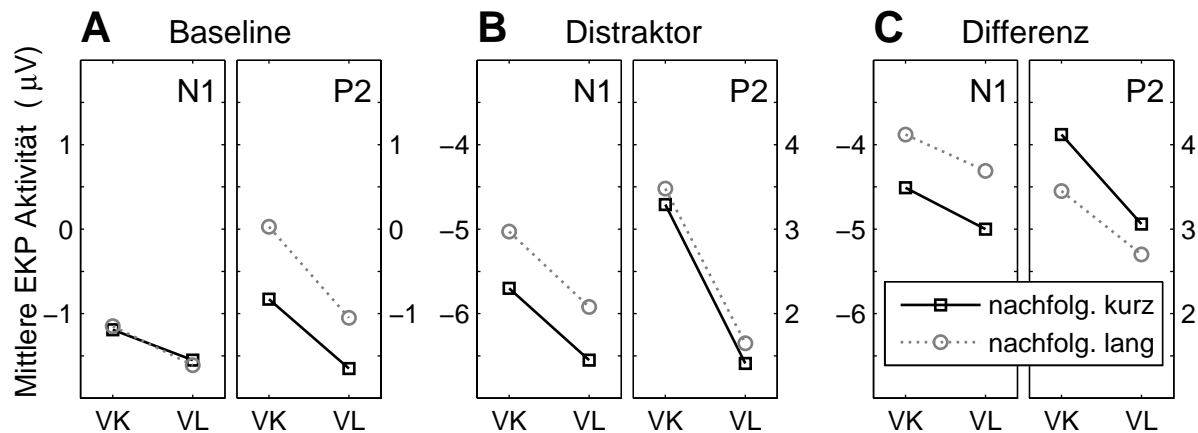
In den EKPs der Distraktorfixationen zeigten sich vergleichbare Aktivierungsmuster des sakkadischen Kontexts, wie in der Baseline. Darüber hinaus ist das EKP durch ein distraktorbezogenes Aktivitätsmuster überlagert. Dieses ist gekennzeichnet durch eine negative Amplitude mit einem Maximum über O2 etwa 140 ms nach Distraktor-Onset, welche vermutlich einer N1 entspricht, sowie durch eine positive Amplitude mit einem Maximum über Cz nach etwa 225 ms, die vermutlich eine P2 widerspiegelt (siehe Abbildung 17C).



**Abbildung 17:** Gemittelte EKPs der Baseline- (A) und Distraktorfixationen (B) sowie für das Differenzpotential (Distraktor - Baseline, C). Die EKPs der sakkadischen Kontextbedingungen sind für die Elektrodenpositionen F4, Cz, Pz und O2 dargestellt. Dabei verkörpert die Ordinatenachse den Fixationsonset und die gestrichelte vertikale Linie bezeichnet den Zeitpunkt, zu dem Distraktoren in den betroffenen Fixationen dargeboten wurden. Die grau hinterlegten Bereiche kennzeichnen die für die statistische Analyse relevanten Zeitfenster und Komponenten (Lambda, N1, P2).

Die statistische Auswertung der N1 ergab signifikante Effekte für vorhergehende,  $F(1, 41) = 14.8$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .26$ , und nachfolgenden Sakkade,  $F(1, 41) = 14.8$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .26$ , jedoch keinen Interaktionseffekt ( $F < 1$ ). Die N1 Amplitude war kleiner bei kurzen im Vergleich zu langen vorhergehenden Sakkaden und bei langen im Vergleich zu kurzen nachfolgenden Sakkaden (siehe Abbildung 18B). Die Analyse der P2 ergab einen

signifikanten Effekt der vorhergehenden Sakkade,  $F(1, 41) = 106$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .72$ , aber keinen Einfluss der nachfolgenden Sakkade und auch keinen Interaktionseffekt (beide  $F < 2.7$ ). P2 Amplituden waren größer bei kurzen im Vergleich zu langen vorhergehenden Sakkaden (Abbildung 18B).



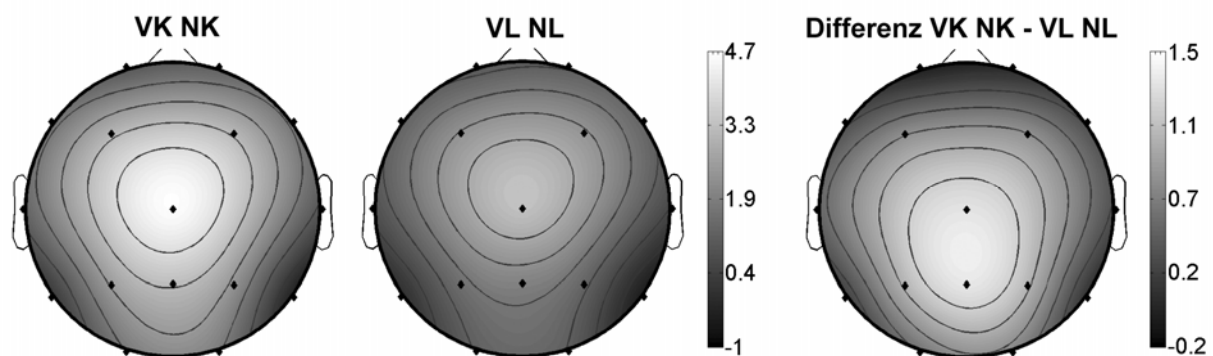
**Abbildung 18:** Mittlere EKP-Aktivierung für das N1 und P2 Zeitfenster als Funktion des Einflusses der vorhergehenden und nachfolgenden Sakkade für Baseline (A), Distraktor (B) und Differenz EKP (C). N1 Aktivität wurde an der O2 Elektrodenposition 130-170 ms nach Distraktor-Onset ermittelt; P2 Aktivität über Cz/Pz im Zeitfenster 200-250 ms. Der Einfluss des vorhergehenden Sakkade (VK, kurz; VL, lang) ist auf der X-Achse abgebildet, der Effekt der nachfolgenden Sakkade ist als Unterschied zwischen schwarzer und grau-gestrichelter Linie dargestellt. Der besseren Erkennbarkeit halber wurde in den grafischen Darstellungen der N1 und P2 von Distraktor und Differenz ein anderer Ordinatenursprung gewählt als in der Baseline.

Bei der Analyse der Blickbewegungsdaten wurde ein Einfluss der folgenden Sakkade auf die Latenz der frühen Phase der sakkadischen Hemmung nachgewiesen. Möglicherweise liegt diesem Effekt eine allgemein beschleunigte oder priorisierte Verarbeitung des Distraktors zugrunde, welche sich auch in einer Veränderung der Latenz der kortikalen Komponenten niederschlagen könnte. Auf Basis dieser Überlegung wurde eine zusätzliche Analyse der N1 Latenz des Distraktor EKPs durchgeführt. Die N1 Latenz wurde definiert als größte negative Amplitude im Zeitfenster von 100-190 ms nach Distraktor-Onset an der O2 Ableitposition. Im Gegensatz zu den Verhaltensdaten zeigte die statistische Auswertung der Latenzwerte der N1 mittels ANOVA für Messwiederholung mit den Faktoren vorhergehende und nachfolgende Sakkade keine signifikanten Haupteffekte und Interaktionen (alle  $F < 1$ ).

### Einfluss des sakkadischen Kontext auf Distraktorverarbeitung

Das Differenz-EKP in Abbildung 17C zeigt die verbleibende Aktivität nachdem die Baseline vom Distraktor EKP abgezogen wurde. Unter der Voraussetzung, dass in jeder sakkadischen Kontextbedingung der allgemeine Einfluss der Sakkaden auf das EKP von Baseline und Distraktorfixationen vergleichbar ist, enthüllt das Differenzpotential den Effekt des

sakkadischen Kontexts auf die Prozesse der kortikalen Distraktorverarbeitung. Die N1 und P2 Amplitude sind nun die bedeutendsten Komponenten im EKP. Insbesondere für die P2 Amplitude ist eine kontextbezogene Modulation über Pz und Cz zu erkennen. Dies spiegelt sich auch in Abbildung 19 wider. Sie stellt die topografische Aktivitätsverteilung im P2 Zeitfenster für die Differenzpotentiale der sakkadischen Kontextbedingung mit der größten (VK-NK) und der kleinsten (VL-NL) P2 Amplitude dar. In beiden Bedingungen ist die stärkste Aktivierung über Cz zu finden. In der Differenz dieser beiden Bedingungen jedoch (VK-NK minus VL-NL; siehe Abbildung 19, rechte Seite) ist das Maximum, und damit die kortikale Quelle der P2 Unterschiede, welche durch den sakkadischen Kontext induziert werden, in Richtung parietaler Regionen verschoben.



**Abbildung 19:** Topografie der Aktivität im P2 Zeitfenster (200-250 ms nach Onset eines Distraktors) des Differenz-EKPs der sakkadischen Kontextbedingungen VK-NK (vorhergehend und nachfolgend kurz; links) und für VL-NL (vorhergehend und nachfolgend lang; mittig). Die Abbildung rechts kennzeichnet den Unterschied zwischen den zuvor genannten Bedingungen.

Die statistische Analyse für die N1 Amplitude des Differenz-EKP ergab einen signifikanten Einfluss der folgenden Sakkade,  $F(1, 41) = 19.9$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .26$ . Die N1 war größer bei kurzen im Vergleich zu langen folgenden Sakkaden (siehe Abbildung 18C). In der Abbildung ist auch zu erkennen, dass lange im Vergleich zu kurzen vorhergehenden Sakkaden mit größeren N1 Amplituden einhergehen. Dieser Effekt verfehlt in der Varianzanalyse jedoch knapp das Signifikanzniveau,  $F(1, 41) = 3.48$ ,  $p = .065$ ,  $\eta^2 = .08$ . Der Interaktionseffekt war ebenfalls nicht signifikant ( $F < 1$ ). Die Auswertung der P2 ergab signifikante Effekte für die vorhergehende,  $F(1, 41) = 27.5$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .40$ , und die folgende Sakkade,  $F(1, 41) = 6.58$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .14$ , aber keinen Interaktionseffekt ( $F < 1$ ). Sowohl für die vorhergehende als auch die nachfolgende Sakkade waren kurze im Vergleich zu langen Sakkadenamplituden mit einer größeren P2 assoziiert (siehe Abbildung 18C). Von besonderem Interesse hierbei ist, dass die Ergebnisse für die P2 im Differenz-EKP und der Fixationsdauererlängerung in den Blickdaten vergleichbare Effektmuster aufweisen, d.h. die größte Amplitude bzw. Fixationsdauererlängerung wurde für VK-NK und die kleinste für VL-NL gefunden.



Unterschiede in den Differenz-EKPs lassen sich bereits vor Erscheinen der N1 im Zeitfenster von 50-150 ms nach Fixationsbeginn an den Elektrodenpositionen Pz und O2 erkennen. Diese Abweichungen koinzidieren zeitlich mit dem Auftreten der Lambda Komponente und lassen sich damit erklären, dass die sakkadischen Kontextbedingungen mit langen vorhergehenden Sakkaden in Baselinefixationen zu kleineren Lambdaamplituden führten als in den Distraktorfixationen. Die statistische Auswertung der Aktivität im Lambda-Zeitfenster des Differenz-EKPs über die drei Faktoren vorhergehende Sakkade, nachfolgende Sakkade und Elektrodenposition (4-fach gestuft: F4, Cz, Pz, O2) mittels ANOVA für Messwiederholung ergab einen signifikanten Effekt für die vorhergehende Sakkade,  $F(1, 41) = 6.84$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .14$ , sowie eine signifikante Interaktion zwischen vorhergehender Sakkade und Elektrodenposition,  $F(3, 123) = 10.4$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .20$ . Wie post-hoc Analysen aufzeigen, ist der Effekt durch eine stärkere Positivierung für lange im Vergleich zu kurzen vorhergehenden Sakkaden gekennzeichnet, jedoch nur an den Ableitpositionen Pz und O2. Alle anderen Effekte der ANOVA waren nicht signifikant ( $F < 2.7$ ). Wie die im Methodenteil dargestellten Kontrollanalysen ergaben, fanden sich keine Unterschiede in der vorhergehenden Sakkadenamplitude zwischen Distraktor und Baselinefixationen in allen vier sakkadischen Kontextbedingungen. Deshalb ist es unwahrscheinlich, dass den hier dargestellten Abweichungen im Lambda Zeitfenster Unterschiede in der Sakkadenamplitude zugrunde lagen.

### Zusammenhang von Blickbewegungen und EKP-Daten

Wie bereits erwähnt, zeigte sich in Blickbewegungsdaten und den EKP-Parametern ein vergleichbarer Einfluss des sakkadischen Kontexts; die Fixationsdauererlängerung und die P2 Amplitude des Differenz-EKPs waren am größten für VK-NK und am kleinsten für VL-NL. Um zu überprüfen, ob zwischen diesen Parametern Zusammenhänge bestehen, wurde eine Korrelationsanalyse durchgeführt. Hierfür wurden Unterschiedsmaße der Fixationsdauererlängerung und der EKP-Indizes (N1 für O2, P2 für Pz/Cz, and Lambda-Komponente für Pz) zwischen VK-NK und VL-NL Bedingung berechnet und miteinander korreliert. Nur der Zusammenhang zwischen Fixationsdauererlängerung und P2 Amplitude erreichte Signifikanzniveau (siehe Tabelle 3). Darüber hinaus interessierte, in welchem Maße vorhergehende und nachfolgende Sakkade einzeln zu diesem statistischen Zusammenhang beitragen. Dazu wurden die gleichen Unterschiedsmaße berechnet wie oben, einmal mit Bezug nur zur vorhergehenden Sakkade und das andere Mal nur mit Bezug auf die nachfolgende Sakkadenlänge. Die Korrelationen dieser Parameter zeigten jedoch keine weiteren signifikanten Zusammenhänge (siehe Tabelle 3). Dies deutet darauf hin, dass die Betrachtung des sakkadischen Verhaltens vor und nach einer Fixation wichtig sind, um sinnvolle Aussagen über zugrunde liegende Verarbeitungsprozesse treffen zu können.

**Tabelle 3: Korrelationen der Effekte der Fixationsdauererlängerung mit denen der distraktorbezogenen EKP-Aktivität**

	Gesamter sakkadischer Kontext		
	<i>r</i>	<i>p</i>	N
Lambda   DE	.123	.438	42
N1   DE	.126	.426	42
P2   DE	.404	<b>.008</b>	42
	Vorhergehende Sakkade		
	<i>r</i>	<i>p</i>	N
Lambda   DE	-.103	.518	42
N1   DE	-.172	.459	42
P2   DE	-.042	.803	42
	Nachfolgende Sakkade		
	<i>r</i>	<i>p</i>	N
Lambda   DE	.030	.851	42
N1   DE	-.073	.645	42
P2   DE	.287	.065	42

*Anmerkungen:* Die in der Korrelationsanalyse verwendeten Maßzahlen für Fixationsdauererlängerung – hier bezeichnet mit DE (für Distraktoreffekt) – und EKP-Komponenten (Lambda, N1, P2) beschreiben die Differenz zwischen bestimmten sakkadischen Kontextbedingungen (siehe Text für weitere Details).

## 7.4 Diskussion

Die aktuelle Studie bestätigt die Ergebnisse von Pannasch und Velichkovsky (2009) über den Einfluss von vorhergehender Sakkadenamplitude auf den Distraktoreffekt im Blickverhalten und ergänzt diese durch eine zusätzliche Betrachtung des Effekts der nachfolgenden Sakkade. Während die größte distraktorinduzierte Fixationsdauererlängerung für Fixationen innerhalb einer Sequenz von vorhergehend und nachfolgend kurzen Sakkaden gefunden wurde, zeigte sich der kleinste Effekt bei Distraktordarbietung in einer Fixation innerhalb langer Sakkaden. Sowohl vorhergehende als auch nachfolgende Sakkade sind also in ähnlicher Weise mit dem Prozess der distraktorinduzierten sakkadischen Hemmung verknüpft. Die Analyse dieser beiden Parameter des Blickverhaltens kann daher einen Zugang für die Untersuchung von Unterschieden der Informationsverarbeitung innerhalb einer Fixation liefern.

---

Die parallele Aufzeichnung von Blickbewegungen und EEG/EKP-Daten ermöglichte es, die neurophysiologischen Korrelate dieses Prozesses näher zu erforschen. Wie erwartet, gingen Unterschiede im sakkadischen Kontext mit einer deutlichen Modulation der Aktivität im EKP einer Fixation einher. Anhand der Differenz-EKPs war es jedoch möglich, den Einfluss des sakkadischen Kontexts auf die Distraktorverarbeitung unabhängig vom generellen Einfluss der Sakkaden auf das EKP zu betrachten. Die Distraktorverarbeitung war dabei im EKP durch ein zusätzliches Muster aus N1 und P2 Komponente gekennzeichnet (vgl. auch Ergebnisse von Studie 1). Darüber hinaus fand sich ein Einfluss der folgenden Sakkade auf die N1 und eine Modulation der P2 durch die vorhergehende und die nachfolgende Sakkade. Insbesondere die Ausprägung der P2 Amplitude scheint mit den Effekten im Blickverhalten verknüpft; die größte Fixationsdauerverlängerung und P2 Amplitude wurde für den Kontext VK-NK gefunden und nahm über die Bedingungen VK-NL, VL-NK und VL-NL sukzessive ab. Gestützt wurde die Hypothese zum Zusammenhang von Distraktoreffekt und P2 außerdem durch eine positive Korrelation zwischen beiden Parametern. Wurde jedoch diese Korrelation in Abhängigkeit von entweder nur der vorhergehenden oder nur der nachfolgenden Sakkade berechnet, zeigte sich kein Zusammenhang. Das unterstützt die Vermutung, dass beide Parameter wichtig sind, um Unterschiede in Verarbeitungsprozessen innerhalb einer Fixation aufdecken zu können.

Darüber hinaus ergaben sich in den Daten weitere Befunde, die nun in der Reihenfolge ihres zeitlichen Auftretens betrachtet werden sollen. Im Differenz-EKP zeigte sich 50-150 ms nach Fixationsbeginn, d.h. teilweise noch vor Darbietung eines Distraktors, eine Abweichung der Aktivität, die durch die Amplitude der vorhergehenden Sakkade moduliert wurde. Zurückgeführt werden konnte der Effekt darauf, dass lange vorhergehende Sakkaden bei Distraktorfixationen eine größere Lambda-Komponente auslösten als bei Baselinefixationen. Da die Größe der Lambda Komponente als Funktion der Amplitude einer Sakkade variiert (Yagi, 1979), könnte das Ergebnis auf eine Verzerrung bei der Auswahl von Distraktor- und Baselinefixationen hinweisen, möglicherweise verursacht durch die relativ grobe Dichotomisierung in kurze und lange Sakkaden (vgl. Angaben im Methodenkapitel). Wie sich jedoch in einer Kontrollanalyse zeigte, waren keine Unterschiede hinsichtlich der Amplitude der vorhergehenden Sakkade zwischen Distraktor- und Baselinefixationen zu finden. Vorläufig gibt es daher keine plausible Erklärung für dieses Ergebnis. Da die N1 Amplitude aber nur durch die nachfolgende Sakkade signifikant beeinflusst wird und die Aktivität im Lambda Zeitbereich des Differenz-EKPs nicht mit den Effekten in den Blickdaten korreliert war (siehe Tabelle 3), kann davon ausgegangen werden, dass diese Abweichung in keinen direkten Zusammenhang mit beobachteten Unterschieden der Distraktorverarbeitung steht.

Eine genaue Analyse der Blickbewegungsdaten ließ eine Latenzverschiebung während der frühen Phase der sakkadischen Hemmung (70-140 ms nach Distraktor-Onset) erkennen. Dieser Unterschied wurde durch die Amplitude der nachfolgenden Sakkade beeinflusst, wobei die Latenz bei langen Sakkaden etwa 8 ms kleiner ist als bei kurzen. Abgesehen von

der Latenzverschiebung ließ sich eine Modulation des Distraktoreffekts im Blickverhalten erst in einem späteren Zeitfenster, d.h. etwa 140 ms nach Distraktor-Onset feststellen, die zudem abhängig von Parametern des gesamten sakkadischen Kontexts war. Dieses Ergebnis unterstützt die Annahme zeitlich dissoziierbarer Beiträge zur distraktorinduzierten sakkadischen Hemmung, wie sie bereits in Studie 1 zur Erklärung der Habituationismuster herangezogen wurden.

Was könnte die Ursache dieser Latenzverschiebung sein? Neurophysiologische Stimulationsstudien bei Primaten haben gezeigt, dass zwischen einem elektrisch induziertem Sakkadensignal im SC und der Ausführung einer Sakkade im Verhalten eine Verzögerung von etwa 20 ms besteht (Munoz, Waitzman & Wurtz, 1996). Aufgrund dieser Schätzung kann man annehmen, dass der Latenzeffekt in einem Zeitfenster von 50-120 ms nach Distraktor-Onset entsteht, d.h. noch deutlich vor dem Eintreten der kortikalen N1 und P2 Komponenten im EKP. Ähnlich wie der Latenzeffekt ist auch die N1 des Differenz-EKPs durch die nachfolgende Sakkade beeinflusst. Ein Latenzunterschied der N1, der auf eine generell beschleunigte Verarbeitung des Distraktors im Gehirn hinweisen würde, konnte jedoch nicht nachgewiesen werden. Wie bereits weiter oben dargestellt, war im Differenz-EKP eine Modulation bereits 50-150 ms nach Fixationsbeginn, und damit etwa zum Zeitpunkt des Distraktor-Onsets, zu finden. Dieser Lambda-Effekt ist jedoch abhängig von der vorhergehenden Sakkade, was eine kausale Rolle zur Erklärung der Latenzverschiebung unwahrscheinlich macht. Zusammengenommen deutet dies darauf hin, dass der Latenzeffekt kein Resultat von Mechanismen ist, die mit der kortikalen Lambda- oder N1-Aktivität im Zusammenhang stehen, sondern seinen Ursprung vielmehr in Prozessen auf niedrigeren Verarbeitungsstufen hat. Neben dem SC, dessen Bedeutung für den okulomotorischen Distraktoreffekt bereits mehrfach betont wurde (Munoz, et al., 2000; Reingold & Stampe, 1999; Sparks, 2002), haben neurophysiologische Studien einen Einfluss weiterer subkortikaler Regionen wie des Kleinhirns, des Striatums und des Thalamus für die Steuerung reflexiver und volitionaler Sakkaden nachgewiesen (siehe McDowell, Dyckman, Austin & Clementz, 2008). Darüber hinaus werden dem Distraktorphanomen vergleichbare Reaktionen des Organismus, wie z.B. der *Freezing*-Reaktion, durch Strukturen des Paläocortex und insbesondere der Amygdala vermittelt (Panksepp, 1998).

Als nächstes soll die Modulation der N1 näher betrachtet werden. Im Differenz-EKP zeigten sich größere N1 Amplituden bei kurzen im Vergleich zu langen nachfolgenden Sakkaden. Die Korrelationsanalysen ergaben keine Zusammenhänge zwischen N1 Aktivität und Distraktoreffekt im Blickverhalten. Eine Vermutung zur Erklärung des N1 Effekts besteht darin, dass die eine Fixation umgebenden Sakkaden (vorhergehende und nachfolgende) in unterschiedlicher Weise die Dynamik der Aufmerksamkeitsausrichtung bei freier Bildbetrachtung abbilden. Verschiedene Studien haben einen Einfluss der Aufmerksamkeitsausrichtung auf frühe kortikale sensorische Potentiale des EKPs nachgewiesen (z.B. Heinze, et al., 1990; Luck, et al., 1990; Mangun & Hillyard, 1990; Van Voorhis & Hillyard, 1977). Im Kontext dieser

Forschung werden größere N1 Amplituden mit der Erleichterung der sensorischen Verarbeitung an einer beachteten räumlichen Position in Zusammenhang gebracht. Darüber hinaus wird vermutet, dass beim natürlichen Sehen die Aufmerksamkeit bereits vor Ausführung einer Sakkade zur nächsten Fixationsort verschoben wird (Deubel & Schneider, 1996; Findlay & Walker, 1999). Aus dieser Perspektive kann man argumentieren, dass, im Fall einer kurzen nachfolgenden Sakkade, der Ort der Distraktordarbietung und der Fokus der verdeckt verlagerten Aufmerksamkeit weiterhin räumlich koinzidieren. Bei langen Sakkaden hingegen ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass sich der Fokus verdeckter Aufmerksamkeit und Distraktorposition nicht überlagern. Demnach könnte die größere N1 für kurze nachfolgende Sakkaden eine Erleichterung sensorischer Verarbeitungsprozesse widerspiegeln, die durch Unterschiede der Ausrichtung verdeckter räumlicher Aufmerksamkeit zustande kamen.

Zum Schluss soll an dieser Stelle noch einmal genauer auf die Verbindung von Fixationsdauerprolongation und P2 Amplitude eingegangen werden. Beide Parameter zeigten ein ähnliches Effektmuster und waren miteinander korreliert. Es scheint also ein Zusammenhang zwischen den Prozessen der kortikalen Verarbeitung und der hemmenden Wirkung auf die Mechanismen der Sakkadengenerierung zu geben. In der Tat haben bereits verschiedene Studien auf eine Verbindung zwischen kortikaler Aktivierung im P2 Zeitfenster und der Verarbeitung distraktorbezogener Informationen hingewiesen (Alain, et al., 1994; Freunberger, et al., 2007; Kotchoubey, 2006). Gemäß diesen Befunden steht die P2 Komponente entweder für verstärkte Verarbeitungsanforderungen oder Prozesse der aktiven Hemmung insbesondere dann, wenn Zielreize und irrelevante Informationen zusammen auftauchen. Weiter empirische Unterstützung für diese funktionelle Bedeutung der P2 kommt von Studien zur visuellen Suche. In diesem Kontext wurde gezeigt, dass die Zuwendung von Aufmerksamkeit in einem Suchdisplay durch die N2pc (N2 posterior-contralateral) Komponente im EKP gekennzeichnet ist (Luck & Hillyard, 1994a, 1994b). Aufmerksamkeit auf die Ziele in einer Suchaufgabe verlangt jedoch gleichzeitig die Unterdrückung irrelevanter und ablenkender Informationen. Neue Daten (Hickey, Di Lollo & McDonald, 2009) weisen darauf hin, dass die N2pc in Anteile der Zielverarbeitung und Distraktorunterdrückung dissoziierbar ist. Die von Hickey und Kollegen (2009) berichtete distraktorbezogene Aktivierung war der P2, welche in der vorliegenden Studie gefunden wurde, sehr ähnlich. Sie trat in einem vergleichbaren Zeitfenster auf und zeigte eine ähnliche räumliche Topografie. Man kann daher davon ausgehen, dass die P2 Komponente mit Prozessen der aktiven Unterdrückung distraktorbezogener Informationen in Zusammenhang steht. Größere P2 Amplituden im Kontext kurzer Sakkaden lassen sich damit als gesteigerte Anstrengung interpretieren, um die intendierte und aufmerksame Verarbeitung des eigentlichen Inhalts am Fixationsort vor dem ablenkenden und irrelevanten Signal des Distraktors abzuschotten.

In gewisser Weise sind das gleichzeitige Auftreten einer stärker hemmenden Reaktion der Distraktorinformation auf kortikalem Niveau und eines stärkeren Einfluss des Distraktors auf der Ebene des beobachteten Verhaltens überraschend. Denn, wenn schon der kortikale

Aufwand hoch ist, um eine irrelevante Information zu unterdrücken, sollte man dann nicht erwarten, dass die Wirkung der Distraction im Verhalten weniger ausgeprägt ist? Eine Erklärungsmöglichkeit hierfür könnte sein, dass beide Effekte nicht wirklich kausal in Beziehung stehen, sondern vielmehr funktionell unterschiedliche aber parallel arbeitende Mechanismen widerspiegeln. Weitere Untersuchungen sind notwendig, um die Prinzipien und Gehirnmechanismen, die dem Zusammenhang von P2 und sakkadischer Hemmung zu Grunde liegen, besser verstehen zu können.

Insgesamt stützen die Ergebnisse die Überlegungen zur Rolle des Blickverhaltens als Zugang für die Diagnose zugrunde liegender Aufmerksamkeit- und Informationsverarbeitungsprozesse. Damit erweitern sie sowohl frühere Befunde, die im Kontext visueller Wiedererkennungsaufgaben und Gefahrenwahrnehmung gewonnen wurden (Velichkovsky, 2002; Velichkovsky, et al., 2005), aber auch jene zur Bedeutung des funktionellen Zusammenhangs zwischen Sakkadenamplitude und Fixationsdauer bei der Wahrnehmung komplexer Szenen (Pannasch, et al., 2008; Tatler & Vincent, 2008; Unema, et al., 2005). Auf allgemeiner Ebene lassen sich auch Übereinstimmungen mit modernen Modellen der Aufmerksamkeitskontrolle finden. Demnach gehen Veränderungen in der Umwelt mit einem Anstieg der Aktivität in ventralen Bereichen des frontoparietalen Netzwerks der visuellen Aufmerksamkeit einher. Dies geschieht durch Unterbrechung laufender Selektionsprozesse im dorsalen Netzwerk (Corbetta, Patel & Shulman, 2008). Man kann daher vermuten, dass die Verarbeitung und Unterdrückung von Distraktoren spezielle Anstrengungen erfordern, die mit einer gesteigerten P2 Aktivität im dorsalem Segment des frontoparietalen Aufmerksamkeitsnetzwerks einhergehen (Hickey, et al., 2009).

Zusammenfassend, ermöglicht die Analyse von Blickbewegungsmustern einen brauchbaren Ansatz zur Erkennung von Unterschieden in der Verarbeitung visueller Informationen im kontinuierlichen Blickverhalten. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Verarbeitung eines Distraktors innerhalb einer Fixation – auf Verhaltensebene und neurophysiologisch – durch das Muster der Sakkaden, welche die Fixation umgeben, moduliert wird. Das Paradigma der blickkontingenten Distraktordarbietung eröffnet damit nicht nur eine methodische Perspektive, um Aufmerksamkeit und Informationsverarbeitung unter Bedingungen kontinuierlichen und natürlichen Blickverhaltens zu untersuchen sondern ermöglicht gleichzeitig einen Zugang für die Analyse verschiedener Phasen und Ebenen der Verarbeitung und der Funktionsweise der beteiligten neurophysiologischen Mechanismen. Wie bereits mehrfach betont, ist die distraktorinduzierte sakkadische Hemmung bisher oft nur mit der Verarbeitung von Informationen in Regionen des Mittelhirns, wie dem SC, in Verbindung gebracht worden. Zusammen mit den Befunden aus Studie 1 und den Ergebnissen weiterer Verhaltensstudien (Born & Kerzel, 2009; Reingold & Stampe, 2004; Sumner, et al., 2006) verweisen die aktuellen Daten jedoch deutlich auf einen Einfluss kortikaler Regionen.

## **8. Zusammenfassung der Ergebnisse und abschließende Diskussion**

In dieser Arbeit wurde die Verlängerung der Fixationsdauer (Distraktoreffekt) als eine der vielfältigen Reaktionen, die mit der Wahrnehmung plötzlicher Veränderungen in der Umwelt einhergehen, untersucht. Im Vordergrund stand die Frage, welche funktionellen und neurophysiologischen Mechanismen an der Verarbeitung von Distraktoren und ihrer Wirkung auf Prozesse der Blicksteuerung beteiligt sind. In der Vergangenheit wurde der Effekt zunächst als okulomotorischer Reflex beschrieben, verursacht durch eine kurzzeitige Hemmung neuer Sakkaden im SC (Reingold & Stampe, 1999). Eine anderer Erklärungsansatz (Pannasch, et al., 2001) interpretierte den Distraktoreffekt in funktioneller Beziehung zum Prozess der OR (im Sinne von Sokolov, 1960; 1963). Diese Idee wurde gestützt durch Befunde zur multi-modalen Natur des Distraktoreffekts und durch Überlegungen zur funktionellen Bedeutung des SCs für Orientierungsverhalten (Dean, et al., 1989). Zwei Eigenschaften eines Reizes – Neuheit und Relevanz – sind in der Vergangenheit als wesentliche Auslösebedingungen für eine OR beschrieben worden (Sokolov, 1960, 1963). Beide Merkmale wurden im Rahmen dieser Arbeit genutzt, um den vermuteten Zusammenhang von Distraktoreffekt und OR zu untersuchen. Ein dritter Teil der Arbeit beschäftigte sich mit der Frage, ob Verarbeitungsprozesse am Fixationsort die Verarbeitung eines Distraktors beeinflussen.

### **8.1 Distraktoreffekt und die Rolle von Neuheit**

Die Orientierungsreaktion wird häufig auch als eine Reaktion auf Neuheit verstanden. Der Verlust der Neuheit durch wiederholte Darbietung eines Stimulus führt zur Reduktion der OR. Diese Abnahme der OR wird als Habituation bezeichnet. Im ersten Teil der empirischen Arbeit wurde die Plausibilität der Annahme eines Zusammenhangs von Distraktoreffekt und OR durch Untersuchung von Habituationseffekten geprüft. Schnelle Habituationseffekte, d.h. eine Abnahme des Distraktoreffekts über Serien gleichartiger Distraktoren, die innerhalb einer Bildbetrachtung dargeboten wurden, konnten in Studie 1 und 2 und darüber hinaus auch in Studie 4 und 5 nachgewiesen werden. Die Ergebnisse von Studie 1 und 2 zeigten weiterhin, dass diese Effekte unabhängig von der Modalität des Distraktors waren. Zwar war der generelle Effekt der Fixationsdauererlängerung für auditive und haptische Distraktoren kleiner als für visuelle, es zeigte sich jedoch ein vergleichbares Muster schneller Habituation in den untersuchten Modalitäten.

Auch langsame Habituationseffekte (also eine Abnahme der Fixationsdauererlängerung über die Dauer des Experiments hinweg) waren zu finden. Diese konnten jedoch nur für visuelle Distraktoren nachgewiesen werden (vgl. Studie 1, 4 und 5). Eine Erklärung für das Ausbleiben langsamer Habituationseffekte bei nicht-visuellen Distraktoren könnte darin liegen,

dass der Effekt generell bedeutend kleiner war und somit im Sinne eines Bodeneffekts kaum Spielraum für eine Veränderung (weitere Abnahme) bestand. Eine andere Sichtweise ist, dass die Abnahme für visuelle Distraktoren einen spezifischen Mechanismus visueller Verarbeitung über die Zeit darstellt. Dies wird unter anderem dadurch gestützt, dass nur für die langsame Habituation visueller Distraktoren eine Korrelation zwischen der Abnahme der Fixationsdauerverlängerung und der N1 Komponente im EKP gefunden wurde. Für schnelle Habituationsprozesse sowie für die Reaktion auf einen veränderten Distraktor war eine solche Beziehung nicht zu beobachten. Damit liegt dem Effekt der langsamen Habituation scheinbar ein grundsätzlich anderer, möglicherweise stärker modalitätsspezifisch ausgerichteter Mechanismus zugrunde. Eine Zunahme von Müdigkeit über die Zeitdauer des Experiments konnte jedoch zumindest in Studie 1 als Ursache ausgeschlossen werden. Zusammengekommen zeigten die Experimente, dass Habituationseffekte einen gut replizierbaren Befund der Modulation des Distraktoreffekts darstellen. Im Hinblick auf die funktionelle Bedeutung des Distraktoreffekts bestätigen die Ergebnisse den postulierten Zusammenhang zur OR.

Der Effekt der Distraktoren auf die Fixationsdauer wird durch eine Hemmung von Sakkaden in einem zeitlich umgrenzten Bereich nach seiner Darbietung verursacht (vgl. Pannasch, et al., 2001; Reingold & Stampe, 1999). Die Analyse von Habituationseffekten anhand der Häufigkeitsverteilungen der Fixationsdauer ergab, dass die Reaktion auf visuelle Distraktoren durch zwei zeitlich dissoziierbare Phasen sakkadischer Hemmung charakterisiert war. Während sich die erste Phase gut im Sinne der bereits von Reingold und Stampe (1999, 2000) beschriebenen reflexhaften Natur sakkadischer Hemmung mit frühem Auftreten (Maximum bei ~110 ms) erklären ließ, hatte die zweite spätere Phase ein Maximum bei ~180 ms und wurde durch die Auftretensreihenfolge des Distraktors im Bild (bzw. dessen Neuheitsgrad) moduliert. Bei auditiven und haptischen Distraktoren hingegen (Studie 1 und 2), konnte kein klares, der ersten Phase bei visuellen Distraktoren entsprechendes, Muster der Hemmung nachgewiesen werden. Sowohl in Studie 1 als auch 2 zeigte sich jedoch Evidenz für eine neuheitsmodulierte Phase sakkadischer Hemmung. Schnelle Habituationseffekte waren in beiden Modalitäten durch eine Veränderung der sakkadischen Aktivität innerhalb eines Zeitfensters von 100-160 ms nach Distraktor-Onset gekennzeichnet.

Vergleichbare Habituationismuster ergaben sich zudem in parallel aufgezeichneten fixationsbasierten EKPs (siehe Studie 1). Langsame und schnelle Habituationseffekte distraktorbezogener kortikaler N1 Komponenten konnten nachgewiesen werden. Dabei zeigte sich, dass die N1 Modulation bei visuellen Distraktoren zeitlich meist später eintrat als der Effekt der sakkadischen Hemmung in den Blickdaten. Dies war insbesondere für die schnelle Habituation ersichtlich. Es wurde deshalb vermutet, dass die funktionelle und neurophysiologische Grundlage dieser habituationsbezogenen Modulation der sakkadischen Hemmung möglicherweise Verarbeitungsprozesse in der sogenannten *low road* (LeDoux, 1992) sein könnten, einem subkortikalen Verarbeitungsweg, der mit der schnellen und automatischen Bewertung emotionaler und relevanter Informationen in Verbindung gebracht wird.



---

Mit Bezug zur schnellen Habituation liefern Ergebnisse neuer Studien von Pannasch, Schulz und Velichkovsky (2011) eine interessante Ergänzung. In einem vergleichbaren Paradigma fanden die Autoren, dass sowohl Onset als auch Offset (Ausblenden) eines Distraktors etwa 110 ms nach dessen Ein- bzw. Ausblenden zu differenzierbaren Mustern sakkadischer Hemmung führten. Unterschiedliche Darbietungsdauern von Distraktoren gingen mit einer zeitlich linearen Verschiebung der zweiten Phase sakkadischer Hemmung einher. Ähnliche Befunde wurden auch aus der Arbeitsgruppe um Henderson und Smith (2009) für das Ein- und Ausblenden einer Bildmaskierung während einer Szenenbetrachtung berichtet. Diese Ergebnisse erfordern eine nochmalige Bewertung der schnellen Habituationseffekte (vor allem bei visuellen Distraktoren). Gemäß der Befunde von Pannasch et al. (2011) wäre bei einer Distraktordauer von 80 ms (vgl. Methoden Studie 1) etwa 190 ms nach Distraktor-Onset mit dem Effekt des Offset zu rechnen. Dies entspricht exakt dem Zeitfenster, für welches in Studie 1 eine Modulation der sakkadischen Hemmung (zweite Phase mit Maximum bei ~180 ms) berichtet wurde. Daher ist davon auszugehen, dass die Unterdrückung von Sakkaden in diesem Zeitfenster sowohl von Offset- als auch von Habituationseffekten beeinflusst wurde. Obwohl dies die Validität der Habituationseffekte nicht grundsätzlich in Frage stellt, bleibt an dieser Stelle ungeklärt, in wie fern die verschiedenen Einflussfaktoren miteinander interagieren, und ob Habituation an Distraktor-Onset, -Offset, oder an beide Ereignisse gekoppelt ist. Weitere Studien sind daher notwendig, um die zeitliche Signatur der sakkadischen Hemmung für schnelle Habituation besser charakterisieren zu können und um die Unterschiede im Habitationsverhalten für visuelle, auditive und haptische Distraktoren genauer bewerten zu können.

Wie in Kapitel 5.1 bereits dargestellt, wurden in der Forschung unterschiedliche Aspekte von Neuheit wie Stimulus-Neuheit, kontextueller Neuheit und assoziativer Neuheit beschrieben (Bunzeck, 2006; Bunzeck & Duzel, 2006). In den Studien dieser Arbeit wurde vor allem das Konzept der Stimulus-Neuheit untersucht; d.h. die Veränderung der Reaktion bei wiederholter Darbietung eines Standardreizes oder bei Einfügen eines abweichenden Stimulus. In den Blickdaten waren beide Neuheitsaspekte durch ein ähnliches Ausmaß der Fixationsdauer-Verlängerung gekennzeichnet, was als zusätzliche Bestätigung des Einflusses von Neuheit interpretiert werden kann. In den EEG-Daten lassen sich bei genauerer Betrachtung jedoch vor allem für auditive Distraktoren deutliche Abweichungen zwischen den EKPs des ersten und des abweichenden Distraktors, insbesondere in späten Komponenten wie der P3, finden. Dies deutet darauf hin, dass die verschiedenen „Arten“ von Neuheit auch mit teilweise unterschiedlichen Verarbeitungsmechanismen verknüpft sind. Auf die neurophysiologischen Grundlagen dieser Unterschiede ist allerdings bisher nur selten in der empirischen Forschung eingegangen worden (Bunzeck, 2006). Aus dieser Perspektive sind die erzielten Ergebnisse zur Modulation des Distraktoreffekts vorerst nur für die verwendete Konzeptionierung von Neuheit generalisierbar.

## 8.2 Distraktoreffekt und die Rolle von Relevanz

Die Befunde zur Habituation bestätigten die Vermutung eines Zusammenhangs zwischen Distraktoreffekt und OR. Neben Neuheit stellt die Relevanz eines Stimulus eine weitere wichtige Bedingung für das Auslösen einer OR dar (Sokolov, 1963; Bernstein, 1972). Es wurde daher erwartet, dass auch die Relevanz eines Stimulus zu einer Modulation des Distraktoreffekts führen sollte. In drei Studien wurde untersucht, ob aufgabenbezogene Relevanz sowie die emotionale Bedeutung der dargebotenen Stimuli einen Einfluss auf den Distraktoreffekt ausüben. Entgegen der Erwartung fanden sich in keinem der Experimente Befunde, die eindeutig im Sinne einer Wirkung von Relevanz interpretiert werden können.

Lediglich in Studie 4, bei der aufgabenbezogene Relevanz durch das Zählen bestimmter Distraktoren induziert wurde, zeigte sich eine Variation des Effekts der Fixationsdauer-Verlängerung für visuelle Distraktoren. In Modellen zur OR wurde jedoch davon ausgegangen, dass diese durch Reize verschiedener Modalitäten ausgelöst werden könne. Dies ließ sich für den Distraktoreffekt zunächst auch anhand der Habituationsbefunde stützen, konnte aber im Kontext aufgabenspezifischer Relevanz nicht repliziert werden. Ein weiteres widersprüchliches Befundmuster bestand darin, dass der Effekt für zu zählende und zu ignorierende visuelle Distraktoren innerhalb eines Bildes keinen Unterschied aufwies. Das bedeutet, Relevanz scheint kein bestimmtes Merkmal des Stimulus darzustellen, welches der mentalen Repräsentation eines Reizes per Instruktion hinzugefügt wird, um dann zu einer speziellen oder priorisierten Art der Verarbeitung zu führen. Die Ergebnisse sprechen viel eher dafür, dass die Ausprägung des Distraktoreffekts und somit der Einfluss auf die Mechanismen der Blicksteuerung dadurch bestimmt wurden, welches Ausmaß an Enkodier- und Verarbeitungsprozessen für die Bewertung des Distraktors als Zielreiz notwendig war.

Das Ausbleiben von Effekten aufgabenspezifischer Relevanz bei auditiven Distraktoren ist dabei möglicherweise Ausdruck der Verarbeitung durch modalitätsspezifische Ressourcen, wie sie z.B. in der Multiplen-Ressourcen-Theorie von Wickens (1980, 2008) postuliert wurden. Während die gleichzeitige Verarbeitung von Bild und visuellem Distraktor die Inanspruchnahme gleicher kognitiver Ressourcen erfordert, und daher wahrscheinlich nur seriell nacheinander erfolgen kann, geschieht die Bewertung auditiver Distraktoren unabhängig und scheinbar ohne zusätzlichen Einfluss auf die Prozesse der Blicksteuerung. Die parallele Verarbeitung visueller Informationen hingegen führte zu deutlichen Interferenzen, welche mit einer stärkeren Verzögerung der Blickverlagerung einhergingen. Das Muster der erzielten Ergebnisse lässt sich so interpretiert, dass bei aktiver Informationsverarbeitung eine längere und stärkere Hemmung von Sakkaden erfolgte. Dies deckt sich mit der allgemeinen Annahme, dass die Fixationsdauer als ein genereller Indikator für visuelle Informationsverarbeitungsprozesse bzw. der Tiefe der Verarbeitung angesehen werden kann (Just & Carpenter, 1976; Velichkovsky, et al., 1997).

---

Emotionale Reize stellen eine andere Klasse von biologisch und motivational relevanten Ereignissen dar. Ähnlich wie für Aufgabenrelevanz wurden in der Vergangenheit modulierende Einflüsse emotionaler Bedeutung auf Parameter der OR sowie auf Aufmerksamkeitsprozesse und Blickverhalten gezeigt. Ein wesentlicher Unterschied der Verarbeitung von aufgaben- und emotionsbezogener Relevanz beruht dabei in der Bedeutung limbischer Strukturen, wie der Amygdala, für die Bewertung affektiver Informationen (Vuilleumier & Driver, 2007). Die Amygdala wird häufig als Kernstruktur für die Verarbeitung emotionaler Informationen und die Vermittlung emotional angepassten Verhaltensreaktionen angesehen (LeDoux, 1996). In zwei Experimenten wurde untersucht, ob die Variation affektiver Komponenten der dargestellten Distraktor- und Bildinhalte zu einer Modulation der Fixationsdauer-Verlängerung führen kann. Diese Idee wurde zudem gestützt durch die aus den Ergebnissen von Studie 1 abgeleitete Annahme, dass auch schnelle Habituationseffekte des Distraktoreffekts mit Verarbeitungsmechanismen in subkortikalen Gebieten und der Amygdala (als essentieller Bestandteil der *low road*) in Zusammenhang stehen könnten. In Studie 4 wurden emotionale und neutrale Gesichtsausdrücke des KDEFs als Distraktorstimuli verwendet. Es konnte jedoch kein Einfluss des affektiven Gehalts auf den Distraktoreffekt festgestellt werden. Ähnliche Befunde ergaben sich auch in Studie 5, wo die Reaktion auf neutrale Distraktoren bei Betrachtung emotionaler Bildinhalte (IAPS-Bilder) untersucht wurde. Weder Unterschiede in Valenz noch im Arousal der emotionalen Inhalte führten zu einer Variation des Effekts. Zusammengenommen ließ sich in den drei Experimenten kein Einfluss aufgabenbezogener oder emotionsbasierter Relevanz auf den Distraktoreffekt nachweisen.

Die Bedeutung dieser Ergebnisse für die Interpretation des Distraktoreffekts als OR soll im folgenden Kapitel näher erörtert werden. Darüber hinaus spricht das Ausbleiben eines emotionalen Einflusses jedoch zunächst gegen die vermutete Beteiligung der Amygdala an der Modulation des Distraktoreffekts. Es ist wichtig darauf hinzuweisen, dass es in Studie 4 und 5 nicht möglich war, eine Kreuzvalidierung der Wirkung der Emotionsinduktion anhand externer Messkriterien (mit Ausnahme der SAM-Ratings) vorzunehmen. Aus diesem Grund bleibt unklar, ob eine (differentielle) Aktivierung der Amygdala stattgefunden hat. Letztlich lassen die Ergebnisse daher keine Aussage darüber zu, ob der Distraktoreffekt durch Verarbeitung in der Amygdala beeinflusst wird, sondern lediglich, dass die verwendeten Paradigmen und die emotionalen Stimuli nicht zu einer Modulation des Distraktoreffekts führten. Aus diesem Grund schließen die Befunde nicht grundsätzlich eine Beteiligung der Amygdala für die Habituationseffekte aus, machen dies jedoch bis zum Nachweis des Gegenteils unwahrscheinlich. Es bleibt also vorerst offen, welche Mechanismen den Habituationseffekten des Distraktoreffekts zugrunde liegen. Bereits in Kapitel 5.5.4 wurde diskutiert, ob die Effekte von Neuheit allein durch funktionelle Mechanismen innerhalb des SCs erklärbar wären. Dies wurde ausgeschlossen, da der Effekt der sakkadischen Hemmung durch zwei zeitlich dissoziierbare Phasen gekennzeichnet war. Weiter oben wurden jedoch Ergebnisse berichtet, die auf eine Konfundierung des Effekts im Zeitfenster der zweiten Phase durch die

Wirkung des Distraktor-Offsets hinweisen. Es bedarf also zunächst weiterer Studien, bei denen Habituation unter Kontrolle von Offset-Effekten untersucht wird, bevor eine genauere Antwort bezüglich der neurophysiologischen Herkunft des Neuheitseffekts zu erwarten ist.

### 8.3 Distraktoreffekt als Orientierungsreaktion?

Insgesamt zeigte sich in den Untersuchungen in mehrfacher Hinsicht Evidenz für Habituationseffekte und damit einen deutlicher Einfluss von Neuheit auf den Distraktoreffekt. Demgegenüber konnte in den Experimenten kein eindeutiger Einfluss von Relevanz und emotionalen Inhalten festgestellt werden. Wenn der Distraktoreffekt ein Teil der Prozesse oder Verhaltensreaktionen darstellt, die mit dem Ablauf einer OR einhergehen, dann müssten beide Faktoren zu einer Modulation führen. Da dies nicht so ist, scheint die OR im Sinne des Sokolov'schen Modells kein angemessenes Konzept für die Beschreibung der funktionellen Mechanismen des Distraktoreffekts zu sein.

Barry und Kollegen (1984, 1986, 2009) haben jedoch bereits mehrfach auf ähnlich inkonsistente Befunde in der empirischen Forschung zur OR hingewiesen. So argumentierten die Autoren, dass nicht alle physiologischen Parameter, die mit der OR in Zusammenhang gebracht wurden, in gleicher Weise mit Stimulusvariation im OR Kontext kovariieren. Um diese Befunde zu erklären, entwickelte Barry ein eigenes Modell der OR-Prozesse, die *Preliminary Process Theorie* (PPT – Barry, 1984, 2009). In diesem Modell wird die OR als Komplex verschiedener *preliminary* (dt. vorbereitender) Prozesse konzeptionalisiert, welche die perzeptuellen und kognitiven Stufen der Verarbeitung eines Reizes widerspiegeln. Jeder dieser vorbereitenden Verarbeitungsschritte ist in unterschiedlicher Weise mit den verschiedenen physiologischen Parametern verknüpft, woraus sich unterschiedliche Reaktionsmuster im Zuge des Auslösens einer OR ergeben.

Aus dieser Perspektive wird ersichtlich, dass Sokolovs Ideen möglicherweise zu unspezifisch waren und eine stärkere funktionelle Untergliederung des OR-Prozesses und der beteiligten Mechanismen erforderlich ist. Für die Interpretation der Befunde zum Distraktoreffekt ist allerdings auch Barrys PPT Konzept ungeeignet, da in dem Modell keine explizite Verbindung der postulierten (*preliminary*) Prozesse zu okulomotorischen Mechanismen entwickelt wurden und funktionelle Unterschiede zwischen Verarbeitung von Neuheit und Relevanz nicht näher thematisiert sind. Das Aufgliedern der OR in verschiedene Subprozesse steht jedoch insbesondere im Hinblick auf die Verarbeitung von Neuheit und Relevanz mit aktuellen Vorstellungen im Einklang. Diese gehen davon aus, dass die Verarbeitung beider Stimulusaspekte durch unterschiedliche neurophysiologische Mechanismen vermittelt wird (vgl. Ranganath & Rainer, 2003), woraus sich auch unterschiedliche Effekte bezüglich der Wirkung von Distraktoren ableiten lassen.

---

So wurden die Unterschiede der Verarbeitung von Neuheit und Relevanz bereits in zahlreichen EEG-Studien thematisiert (Courchesne, Hillyard & Galambos, 1975; Debener, Kranczioch, Herrmann & Engel, 2002; für Überblickartikel siehe auch Polich, 2007; Ranganath & Rainer, 2003). Sowohl die Verarbeitung von seltenen neuartigen Reizen (*novels*) als auch von seltenen Zielreizen (relevante Reize) ist durch eine späte positive Komponente (P3) im EKP gekennzeichnet. Dabei unterscheiden sich die Aktivierungsmuster der P3 für Neuheit und Relevanz hinsichtlich zeitlicher und topografischer Merkmale. In der auditiven Modalität sind neuheitsbezogene Veränderungen der P3 Aktivität (häufig als P3a bezeichnet) stärker an fronto-zentralen Ableitpositionen zu finden und haben ein Maximum bei 250-400 ms. Zielreizbezogene P3 Komponenten (P3b) hingegen haben die größte Ausprägung über zentralen und posterioren Regionen und erreichen ihr Maximum bei 400-600 ms (vgl. Friedman, Cycowicz & Gaeta, 2001). Auch für visuelle Reize sind unterschiedliche P3 Komponenten im Zusammenhang mit der Verarbeitung von Neuheit und Relevanz berichtet worden (Bledowski, et al., 2004). Beide Subkomponenten scheinen funktionell unterschiedliche Mechanismen widerzuspiegeln. Demnach steht die P3a mit unwillkürlicher Aufmerksamkeitsreallokation (Polich, 2003) oder der Hemmung von zielreizbezogenen Reaktionsprozessen in Verbindung (Goldstein, Spencer & Donchin, 2002), die P3b hingegen wird mit unmittelbaren Gedächtnismechanismen beim Update des aktuellen mentalen Aufgabenkontextes in Zusammenhang gebracht (Donchin & Coles, 1988).

Insgesamt lässt sich daraus ableiten, dass die Verarbeitung von Neuheit und Relevanz funktionell und neurophysiologisch durch unterschiedliche Mechanismen gekennzeichnet ist. Verarbeitungsunterschiede, die sich im Zeitfenster der P3 manifestieren, sind jedoch zeitlich zu spät, um eine kausale Wirkung auf die relativ frühe Modulation des Distraktoreffekts ausüben zu können. Die Mechanismen der Verarbeitung von Neuheit und Relevanz müssen sich also bereits in einem frühen Stadium der Stimulusbewertung unterscheiden, um die gefundenen Ergebnisse im Blickverhalten erklären zu können. Auch die Verarbeitung emotionaler und aufgabenbezogener Relevanz ist durch grundsätzlich unterschiedliche Mechanismen gekennzeichnet. Dies wird am deutlichsten in der Bedeutung limbischer Strukturen wie der Amygdala für die Evaluation affektiver Information (Vuilleumier & Driver, 2007).

Der Erklärungsansatz des Distraktoreffekts als Teil der OR (Pannasch, et al., 2001) kann wegen der fehlenden Befunde zur Relevanz nicht aufrechterhalten werden. Gleichzeitig greift jedoch auch die Idee eines okulomotorischen Reflexes (Reingold & Stampe, 1999) zu kurz, um den Mechanismus vollständig beschreiben zu können. Vielmehr deuten die Daten darauf hin, dass beide Ansätze Teile des Phänomens zutreffend erklären können. Insbesondere wird dies im Vorhandensein zweier zeitlich dissozierbarer Muster sakkadischer Hemmung ersichtlich. Eine frühe Phase sakkadischer Hemmung im Zeitfenster zwischen 70-140 ms war immer gleich stark ausgeprägt und spiegelt damit am besten die Idee eines okulomotorischen Reflexes wider. Die zweite Phase sakkadischer Hemmung erfolgte später und ihre Stärke war

abhängig von der Neuheit des Distraktors. Bereits mehrfach wurde darauf hingewiesen, dass diesen Effekten unterschiedliche Mechanismen zugrunde liegen könnten. So wurde vermutet, dass insbesondere die schnelle Habituation mit der *low road* und Verarbeitung des Stimulus in der Amygdala zu tun haben könnte. In den beiden Studien zum Einfluss emotionaler Stimuli fanden sich jedoch keine Hinweise für eine Modulation des Distraktoreffekts, was die Plausibilität dieser Sichtweise einschränkt.

Bereits in Kapitel 5.4.4 wurde darauf aufmerksam gemacht, dass auch andere Mechanismen (inklusive von Prozessen innerhalb des SCs) für den Effekt der Neuheit verantwortlich sein könnten. Eine Erweiterung zu diesen Ausführungen ist, dass Verarbeitung von Neuheit unter anderem auch durch Aktivierung dopaminergere Strukturen des Mittelhirns wie der Substantia nigra (SN) und des ventralen tegmentalaren Areals (VTA), sowie der Region des Hippocampus gekennzeichnet ist (Bunzeck & Duzel, 2006; Schultz, 1998). Die dopaminergen Strukturen des Mittelhirns werden funktionell vor allem mit der Kodierung von Belohnung assoziiert. Die Habituation der Aktivität in diesen Strukturen bei wiederholter Darbietung eines Stimulus könnte daher auf eine spezielle biologische Bedeutung von Stimulusneuheit, im Sinne eines Belohnungswerts, hindeuten (Reed, Mitchell & Nokes, 1996). Von besonderem Interesse ist, dass neuheitsbasierte Aktivierungen der SN/VTA vermutlich über sehr schnelle und direkte dopaminerge Projektionen visueller Signale aus dem SC vermittelt werden (Dommett, et al., 2005). Wie sich in Studien mit Einzelzelleitungen an Affen nachweisen ließ (Hikosaka & Wurtz, 1983a, 1983b), sind die Projektionen zwischen SC und SN reziproker Natur und können daher auch auf die visuellen und okulomotorischen Funktionen des SCs einwirken. Dieselben Autoren (Hikosaka & Wurtz, 1983a) vermuteten deshalb, dass diese Verknüpfung eine wesentliche Basis für die Modulation okulomotorischen Verhaltens bei Neuheit darstellen könnte.

Bunzeck und Duzel (2006) untersuchten mittels fMRT wie Neuheit und andere Formen von Stimulussalienz (Seltenheit, emotionale Valenz, Aufgabenrelevanz und Familiarität) die Aktivierung von Strukturen des Mittelhirns beeinflussen. Sie konnten zeigen, dass die Regionen der SN/VTA vor allem auf Aspekte der Neuheit reagierten, während alle anderen Stimuluseigenschaften eher durch Aktivierung in spezifischen Regionen wie Hippocampus (Seltenheit/Abweichung), Amygdala (emotionale Valenz) oder dem Red Nucleus (motorische Reaktionen auf Ziele) gekennzeichnet waren. Hier zeigt sich eine interessante Parallele zu den vorliegenden Befunden (d.h. dem Einfluss von Neuheit und Relevanz auf den Distraktoreffekt). Man könnte spekulieren, dass die Interaktion des SCs mit den dopaminergen Strukturen des Mittelhirns (vermutlich vor allem mit der SN) maßgeblich an Modulation des Distraktoreffekts durch Neuheit beteiligt ist. Eine solche Verbindung würde auch das Ausbleiben eines Einfluss von Relevanz auf den Distraktoreffekt erklären, da diese Stimuluseigenschaft zu keiner Modulation der Aktivität in der SN führte (Bunzeck & Duzel, 2006).

Einschränkend ist jedoch zu erwähnen, dass die Autoren (Bunzeck & Duzel, 2006) keine Aktivierungsunterschiede im SC nachweisen konnten. Dies lässt sich jedoch möglicherweise mit der Aufgabe der Probanden in ihrer Untersuchung erklären. Bilder wurden für 500 ms dargeboten und dann durch die Präsentation eines Fixationskreuzes ersetzt. Die Ausführung von Blickbewegungen wurde also in der Aufgabe aktiv unterdrückt. Eine primäre Funktion des SCs besteht in der Koordination des Blickverhaltens. Die bewusste Unterdrückung von Blickbewegungen wird vermutlich durch *top-down* Signale aus kortikalen Regionen wie dem FEF gesteuert, welche die Aktivität im SC kontrollieren. Möglicherweise führen diese *top-down* Signale zu einer Unterdrückung der Aktivität im SC und damit auch der modulatorischen Signale aus Regionen der SN/VTA. Trotz einiger Fortschritte in den vergangenen Jahren steht die Erforschung der dopaminergen Strukturen des Mittelhirns beim Menschen und insbesondere ihrer funktionellen und neurophysiologischen Verbindungen noch am Anfang. Die hier skizzierte Idee, welche der SN eine wesentliche Rolle für den Einfluss der Neuheit auf den Distraktoreffekt zuweist, bedarf daher zunächst empirischer Validierung.

#### **8.4 Distraktoreffekt und der Einfluss von Informationsverarbeitungsprozessen**

Ein weiteres Ziel der Arbeit bestand darin, den Zusammenhang zwischen der Informationsverarbeitung innerhalb einer Fixation und dem Distraktoreffekt zu untersuchen. Inhaltlich lag hierbei die These zugrunde, dass Blickbewegungsmuster und Informationsverarbeitungsprozesse direkt miteinander in Beziehung stehen (Velichkovsky, et al., 2005). Demnach deuten bestimmte Kombinationen von Fixationsdauer und Sakkadenamplitude auf unterschiedliche Formen der Aufmerksamkeitsausrichtung bzw. Modi der Informationsverarbeitung hin. Die Ergebnisse von Pannasch und Kollegen (2009) zum Einfluss der vorhergehenden Sakkade auf den Distraktoreffekt aufgreifend, wurde untersucht, ob das Muster von Sakkaden, die eine Fixation umgeben (d.h. vorhergehende und nachfolgende Sakkade), zu einer Modulation der distraktorinduzierten Fixationsdauererlängerung führt. Durch parallel aufgezeichnete EEG-Daten wurde es zudem möglich, die kortikalen Mechanismen dieser Modulation anhand fixationsbasierter EKPs näher zu spezifizieren.

In den Ergebnissen zeigte sich ein deutlicher Einfluss des sakkadischen Kontexts, d.h. der unterschiedlichen Größe vorhergehender und nachfolgender Sakkaden, auf den Distraktoreffekt sowie auf die P2 Komponente des Distraktor EKPs. Eine Distraktordarbietung, die in Fixationen mit kurzen umliegenden Sakkaden eingebettet war, führte zur größten Fixationsdauererlängerung und P2 Amplitude. Das umgekehrte Muster (kleinste Effekte) wurde für lange umgebende Sakkaden gefunden. Die Ergebnisse verwiesen zudem darauf, dass sowohl vorhergehende als auch nachfolgende Sakkaden mit der Modulation des Effekts einhergingen. Diese Befunde bestätigten frühere Vermutungen (Pannasch & Velichkovsky, 2009;

Velichkovsky, et al., 2005), wonach die Analyse von Blickbewegungsmustern einen Zugang zur Diagnose von Informationsverarbeitungsunterschieden innerhalb einer Fixation darstellen kann. Die beobachteten distraktorbezogenen Veränderungen im Verhalten und in neurophysiologischen Parametern stützen die Annahme einer Interaktion mit diesen intrafixationalen Verarbeitungsmechanismen.

Wenn der sakkadische Kontext also, wie vermutet wurde, unterschiedliche Tendenzen der Verarbeitung widerspiegelt, wobei man für Fixationen innerhalb kurzer Sakkaden (fokaler Modus) eine intensivere, fokussiertere und objektzentriertere Verarbeitung annehmen könnte, dann lässt sich die gezeigte Modulation des Distraktoreffekts als eine stärkere Anstrengung interpretieren, die aktuelle Verarbeitung vor dem ablenkenden Einfluss des Distraktors abzuschirmen. Die ebenfalls beobachtete Modulation der P2 Amplitude verweist nicht nur auf die Beteiligung kortikaler Mechanismen an diesem Prozess, sondern unterstützt diese Sichtweise, denn bereits andere Autoren (Alain, et al., 1994; Freunberger, et al., 2007; Kotchoubey, 2006) haben die Aktivität im P2 Zeitfenster funktionell mit Prozessen der Hemmung irrelevanter Informationen in Zusammenhang gebracht.

Bisher ist noch unzureichend geklärt, was den Unterschieden im sakkadischen Kontext und somit der Modulation des Distraktoreffekts genau zugrunde liegen könnte. Frühere Arbeiten (Velichkovsky, et al., 2005) haben eine Beteiligung verschiedener kortikaler Gehirnmechanismen, wie z.B. der dorsalen und ventralen Bahnen des visuellen Systems (vgl. Milner & Goodale, 2008), vorgeschlagen. Demnach reflektieren kurze Fixationen in Kombination mit langen Sakkaden die relative Dominanz des über den dorsalen Pfad des visuellen Systems vermittelten ambienten Verarbeitungsmodus, der für die Bewertung der räumlichen Anordnung und Lokalisation von Objekten notwendig ist. Lange Fixationen mit kurzen Sakkaden hingegen deuten auf einen eher fokalen Modus für die Identifikation von Objekten hin, der mit Mechanismen im ventralen System in Zusammenhang gebracht wurde. Bisher fehlte jedoch der empirische Nachweis für die Beteiligung der genannten neurophysiologischen Strukturen. Auch die in Studie 6 erzielten EKP-Ergebnisse liefern diesbezüglich keine klärenden Befunde.

Nichtsdestotrotz verweisen die vorliegenden Ergebnisse auf Interaktionen zwischen der Verarbeitung des Distraktors und anderen intrafixationalen Prozessen. So konnte neben dem Effekt auf Fixationsdauer und P2 Komponente auch ein Einfluss der nachfolgenden Sakkade auf die Latenz der frühen Phase der sakkadischen Hemmung und auf die N1 Komponente nachgewiesen werden. Beide Effekte haben ihren Ursprung zu unterschiedlichen Zeitpunkten nach Darbietung des Distraktors. Dies spricht für Interaktionsprozesse auf unterschiedlichen funktionellen und neurophysiologischen Ebenen der Informationsverarbeitung (z.B. Sakkadenprogrammierung und Aufmerksamkeitsverschiebung).



---

Insgesamt zeigt dies, dass innerhalb einer Fixation sowohl parallele als auch serielle Verarbeitungsprozesse ablaufen. Weitere Forschung sollte darauf abzielen, die grundlegenden Unterschiede zwischen den als fokal und ambient bezeichneten Verarbeitungsmodi herauszuarbeiten, bzw. die unterschiedlichen intrafixationalen funktionellen Subprozesse genauer zu definieren und deren Wirkung voneinander abzugrenzen. Dies betrifft z.B. Faktoren wie die Verteilung des Aufmerksamkeitsfokus (räumlich vs. fokussiert) aber auch die Beteiligung von Gedächtnisprozessen (Lang- vs. Kurzzeitgedächtnis, räumliches vs. objektorientiertes oder symbolisches Gedächtnis) für die Verarbeitung innerhalb einer Fixation. Konträr zu dieser Idee könnte man auch argumentieren, dass sakkadischer Kontext nichts mit Verarbeitungsunterschieden im engeren Sinne zu tun hat, sondern die erzielten Ergebnisse lediglich Ausdruck einer Interaktion von Distraktorverarbeitung und Prozessen der Sakkadenprogrammierung aufgrund verschiedener Sakkadenmuster sind. Eine vierte Option könnte sein, dass sakkadischer Kontext und Art des Inhalts einer Fixation systematisch kovariieren. Letzteres wird gestützt durch Befunde von Tatler, Baddeley und Vincent (2006). Sie konnten zeigen, dass kurze Sakkaden oft auf visuell auffällige Merkmale in der Szene zielen, während dies bei langen Sakkaden seltener der Fall zu sein scheint.

Eine getrennte Analyse dieser vielfältigen Einflussgrößen sollte daher Ziel weiterer Untersuchungen in diesem Kontext sein. Bei freier Bildbetrachtung ist eine methodische Kontrolle dieser Faktoren jedoch oft nicht zu erreichen. Daher scheint ein Rückgriff auf Paradigmen notwendig, die zwar natürliches Blickverhalten stärker einschränken, trotzdem aber noch Formen aktiven Sehens bei gleichzeitiger Kontrolle anderer relevanter Parameter ermöglichen. Die *Double-Step* Aufgabe (Becker & Jürgens, 1979) oder abgewandelte Formen dieses Paradigmas, bei denen Probanden eine Sequenz von Sakkaden ausführen müssen, könnten hierfür einen Ansatz darstellen. Im Kontext dieses Paradigmas lassen sich problemlos Faktoren wie Amplitude der auszuführenden Sakkaden, exogene (stimulusgetriebene) oder endogene (gedächtnisbasierte) Sakkadenprogrammierung, Informationsgehalt und -qualität am Fixationsort sowie die Anbindung an Gedächtnissysteme durch entsprechende Aufgabeninstruktion realisieren. Dies ermöglicht die getrennte Analyse der potentiellen Einflussgrößen und sollte folglich auch zu einem besseren Verständnis bezüglich der Rolle des sakkadischen Kontexts für visuelle Informationsverarbeitung führen.

Auch die Studien zur aufgabenspezifischen und emotionalen Relevanz lassen sich unter Fragestellung eines Zusammenhangs von Distraktoreffekt und Informationsverarbeitung betrachten. Eine Gemeinsamkeit der Befunde zu aufgabenspezifischer Relevanz und zum sakkadischen Kontext scheint darin zu bestehen, dass es sich um einen modalitätsspezifischen Effekt der Verarbeitung visueller Informationen handelt, da für akustische Distraktoren kein Einfluss der Sakkadenamplitude (vgl. Pannasch & Velichkovsky, 2009) und von Aufgabenrelevanz (Studie 3) beobachtet wurde. Dies stützt die Hypothese, dass unabhängige zentrale Ressourcen an der Verarbeitung akustischer und visueller Distraktoren beteiligt sind und daher in unterschiedlicher Weise mit Prozessen der Blicksteuerung interagieren. Eine

grundlegende Abweichung in den Befunden zur Aufgabenrelevanz und zum sakkadischen Kontext hingegen bestand darin, dass zwar beide Faktoren einen modulierenden Einfluss auf den Distraktoreffekt hatten, diesem lagen aber scheinbar unterschiedliche funktionelle Prinzipien zugrunde. Während ersteres vermutlich eine Folge der aktiven Verarbeitung der Stimulusmerkmale des Distraktors darstellte, war letzteres möglicherweise Ausdruck einer aktiven Unterdrückung der Distraktorinformation, um die aktuelle Verarbeitung der Information am Fixationsort abzuschirmen. Ganz verschiedene Prozesse, die als Reaktion einer Distraktorpräsentation ablaufen, führen also zu ähnlichen Effekten im Blickverhalten. Einerseits zeigt dies, dass das verwendete Paradigma sensitiv ist, um Unterschiede verschiedener funktioneller Aspekte der visuellen Verarbeitung abzubilden. Andererseits führt diese Diversität zur Frage, ob es sich bei dem gefundenen Effekt um ein einheitliches Phänomen oder eher um die summative Wirkung unterschiedlicher Prozesse auf ein und denselben Effektor – d.h. von Prozessen der zeitlichen Kontrolle von Sakkaden – handelt. Antworten hierauf können zwangsläufig nur weitere Studien liefern, in denen die neuronalen Mechanismen der jeweiligen Prozesse genauer untersucht werden müssen.

Eine Frage, die sich durch die Studien ebenfalls nicht schlüssig beantworten ließ, war, ob Interaktionen zwischen der Verarbeitung emotionaler Informationen und dem Distraktoreffekt existieren. In den beiden dazu durchgeführten Experimenten konnte keine Variation im Distraktoreffekt durch affektive Information nachgewiesen werden. Dies könnte, in Zusammenschau mit den Befunden der Studien zu Aufgabenrelevanz und sakkadischen Kontext, bedeuten, dass weniger der Inhalt einer zu verarbeitenden Information, als vielmehr die Art und Weise wie eine Information verarbeitet wird (aktiv und intensiv statt passiv und oberflächlich), eine wesentliche Determinante für die beobachteten Effekte von Distraktoren im Blickverhalten darstellen.

## **8.5 Ausblick**

Obwohl in den durchgeführten Studien der vermutete Zusammenhang von Distraktoreffekt und OR nicht eindeutig nachgewiesen werden konnte, ergab sich eine Vielzahl von neuen Erkenntnissen, die zum besseren Verständnis der Distraktorverarbeitung und deren Einfluss auf Prozesse der Blicksteuerung beigetragen haben. An dieser Stelle sollen noch einmal einige der offenen Fragen und Möglichkeiten für deren weitere Untersuchung skizziert werden.

Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass die Befunde zum Einfluss von Neuheit auf den Distraktoreffekt und speziell die Aussagen bezüglich dissoziierbarer zeitlicher Phasen sakkadischer Hemmung aufgrund der Überlagerungen von Effekten der Habituation und des Distraktor-Offsets nur eingeschränkte Gültigkeit haben. Eine Möglichkeit, diese Art von Konfundierung in zukünftigen Studien zu vermeiden und die Wirkung des Offsets methodisch

---

zu kontrollieren, besteht darin, die Distraktordarbietung erst am Ende einer Fixation abzuschalten. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass auch die Wirkung des Distraktor-Offsets von Habituationsmechanismen beeinflusst wird. Um dies zu überprüfen, wäre die eben genannte Bedingung (Ausblenden am Ende der Fixation) gegen eine zweite Versuchsbedingung mit früherem Distraktor-Offset zu vergleichen, wobei der Offset zeitlich möglichst nach dem erwarteten Habituationseffekt des Onsets eintreten sollte. Aus den empirischen Erfahrungen der durchgeführten Studien wäre hierfür eine Distraktordauer von etwa 200 ms zu empfehlen.

Eine weitere interessante Forschungsperspektive stellt die Untersuchung von interindividuellen Unterschieden des Distraktoreffekts dar. In den zwei Studien zum Einfluss emotionaler Inhalte zeigte sich überraschenderweise eine Modulation der Fixationsdauer-Verlängerung in Abhängigkeit vom Probandengeschlecht. In beiden Experimenten war der Distraktoreffekt bei Frauen stärker ausgeprägt als bei Männern. Solche Befunde wurden bisher nicht berichtet und bedürfen daher weiterer Überprüfung bei gleichzeitiger Kontrolle anderer möglicher konfundierender Einflüsse (wie z.B. des Alters). Im Kontext interindividueller Unterschiede erweist sich auch die Modulierbarkeit des Distraktoreffekts durch Neuheit nochmals von Interesse. Verschiedene psychologische Theorien zur Beschreibung von Persönlichkeit postulieren explizit Eigenschaften, welche auf die Neigungen des Menschen, mit Aspekten der Neuheit in der Umwelt zu interagieren, eingehen. Hierzu zählen z.B. Cloningers Konzept des *Novelty Seeking* (Neugierverhalten – Cloninger, 1994; Cloninger, Svrakic & Przybeck, 1993) oder Eysencks Extraversionskonzept (Eysenck, 1967, 1981). Eine spannende Frage ist daher, ob der Distraktoreffekt, als relativ schnelle und kognitiv unbelastete Reaktion auf Veränderung und Neuheit, mit Ausprägungen in den genannten Persönlichkeitsdimensionen in einen sinnvollen Zusammenhang gebracht werden kann. Die in Kapitel 8.3 formulierte Hypothese, dass Neuheitseffekte des Distraktoreffekts möglicherweise durch eine Verbindung des SCs und dopaminerger Strukturen des Mittelhirns wie der SN vermittelt werden, erweist sich als zusätzlich stützendes Element, denn Konzepte wie *Novelty Seeking* werden auf molekulargenetischer Ebene mit unterschiedlichen Polymorphismen assoziiert, welche die Wirkung dopaminerger Transmittersysteme widerspiegeln sollen (z.B. Strobel, Lesch, Jatzke, Paetzold & Brocke, 2003).

Im vorherigen Absatz wurde bereits betont, dass auch die in Studie 6 gewonnenen Ergebnisse hinsichtlich der Beziehung von Blickbewegungsmustern, Informationserarbeitungsprozessen und deren Wirkung auf den Distraktoreffekt durch genauere Analysen der beteiligten Prozesse unterstützt werden müssen. Insbesondere bedarf es einer weiteren Klärung, welche Prozesse den spezifischen Mechanismen der Modulation des Distraktoreffekts durch den sakkadischen Kontext zugrunde liegen. Wie erwähnt, ist eine Kontrolle aller möglichen Einflussfaktoren in Paradigmen mit freier Bildbetrachtung kaum zu erreichen, weshalb ein Rückgriff auf experimentelle Methoden, die natürliches Blickverhalten stärker einschränken, erforderlich sein dürfte. Nichtsdestotrotz zeigen die in dieser Arbeit erzielten Ergebnisse, dass die

Methode der blickkontingenten Stimulusdarbietung einen fruchtbaren Ansatz zur Untersuchung von Prozessen der Wahrnehmung, Aufmerksamkeit und Informationsverarbeitung im Kontext natürlichen Blickverhaltens darstellt. Eine neue Entwicklung an unserer Arbeitsgruppe stellt hierbei die Möglichkeit der Verknüpfung hochauflösender Blickbewegungsmessung und bildgebender Verfahren wie fMRT dar. Derzeitig laufen Experimente, in denen mittels dieser Verfahrenskombination die in Kapitel 7 skizzierten Zusammenhänge zwischen Blickbewegungen und Informationsverarbeitung weiter untersucht werden.

Dieser Studie lag dabei folgende Forschungshypothese zugrunde. Wenn kurze Sakkaden tatsächlich funktionell einen fokalen, d.h. auf Identifizierung von Objekten orientierten, Modus der Verarbeitung widerspiegeln und lange Sakkaden einen ambienten Modus zur Erkundung räumlicher Aspekte, dann, so wurde vermutet, lässt sich der funktionelle Schwerpunkt der Verarbeitung innerhalb einer Fixation möglicherweise auch per Aufgabenstellung in die eine oder andere Richtung verschieben. Dazu betrachteten Probanden Bilder unter zwei verschiedenen Instruktionen, wobei in einer Bedingung im Nachhinein eine Frage bezüglich des räumlichen Layout zu beantwortet war, und in der zweiten der Fokus auf der Wiedererkennung von in der Szene dargestellten Objekten lag. Während der Betrachtung wurden visuelle Distraktoren blickkontingent dargeboten. Erste Verhaltensdaten deuten darauf hin, dass die objektbezogene im Vergleich zur räumlichen Instruktion nicht nur zu einer Erhöhung der Dauer distraktorunbeeinflusster Fixationen führte, sondern zusätzlich auch mit einem bedeutend größeren Distraktoreffekt einherging. Dies steht im Einklang mit Ergebnissen von Studie 6 und der vermuteten funktionellen Bedeutung des sakkadischen Kontexts. Die Auswertung der fMRT Daten soll nun zeigen, welche Regionen an der Verarbeitung der Distraktoren und der Modulation des Distraktoreffekts beteiligt sind.

Zunächst gilt jedoch zu prüfen, inwieweit die zeitlich hoch dynamischen Prozesse der Wahrnehmung bei freiem Blickverhalten mit Hilfe der vergleichsweise trägeren fMRT Methode sinnvoll abgebildet werden können. Ein Vorteil dieses Verfahrens gegenüber anderen physiologischen Techniken wie EEG besteht jedoch zweifellos darin, dass auch Aktivierungen subkortikaler Regionen nachweisbar sind. Sowohl die aktuellen Befunde als auch frühere Studien verweisen auf einen wesentlichen Anteil dieser Hirnstrukturen an der Distraktorverarbeitung und einen Zusammenhang zu den Mechanismen der Blicksteuerung, die auf diese Weise näher untersucht werden könnten.

## 9. Literaturverzeichnis

- Adolphs, R., Gosselin, F., Buchanan, T. W., Tranel, D., Schyns, P., & Damasio, A. R. (2005). A mechanism for impaired fear recognition after amygdala damage. *Nature*, *433*(7021), 68-72.
- Aitkin, L. (1986). The inferior colliculus - nexus of the auditory pathway. In L. Aitkin (Ed.), *The auditory midbrain* (pp. 75-100). Clifton NY: The Humana Press Inc.
- Alain, C., Woods, D. L., & Ogawa, K. H. (1994). Brain indices of automatic pattern processing. *Neuroreport*, *6*(1), 140-144.
- Alais, D., Morrone, C., & Burr, D. (2006). Separate attentional resources for vision and audition. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *273*(1592), 1339-1345.
- Allport, D. A., Antonis, B., & Reynolds, P. (1972). On the division of attention: A disproof of the single channel hypothesis. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *24*(2), 225-235.
- Amaral, D. G., Behniea, H., & Kelly, J. L. (2003). Topographic organization of projections from the amygdala to the visual cortex in the macaque monkey. *Neuroscience*, *118*(4), 1099-1120.
- Amaral, D. G., Price, J. L., Pitkanen, A., & Carmichael, T. (1992). Anatomical organization of the primate amygdaloid complex. In J. Aggleton (Ed.), *The amygdala: Neurobiological aspects of emotion, memory, and mental dysfunction* (pp. 1-66). New York: Wiley-Liss.
- Amlot, R., Walker, R., Driver, J., & Spence, C. (2003). Multimodal visual-somatosensory integration in saccade generation. *Neuropsychologia*, *41*(1), 1-15.
- Angrilli, A., Mauri, A., Palomba, D., Flor, H., Birbaumer, N., Sartori, G., et al. (1996). Startle reflex and emotion modulation impairment after a right amygdala lesion. *Brain*, *119*(6), 1991-2000.
- Arnold, M. B. (1960). *Emotion and personality*. New York: Columbia University Press.
- Averill, J. R. (1980). A constructivist view of emotion. In R. Plutchik & H. Kellerman (Eds.), *Emotion: Theory, research, experience* (Vol. 1, pp. 305-339). New York: Academy Press.
- Baccino, T., & Manunta, Y. (2005). Eye-fixation-related potentials: Insight into parafoveal processing. *Journal of Psychophysiology*, *19*(3), 204-215.
- Badia, P., & Harley, J. P. (1970). Habituation and temporal conditioning as related to shock intensity and its judgment. *Journal of Experimental Psychology*, *84*, 534-536.
- Bahill, A. T., Adler, D., & Stark, L. (1975). Most naturally occurring human saccades have magnitudes of 15 degrees or less. *Investigative Ophthalmology*, *14*(6), 468-469.
- Balota, D. A., Pollatsek, A., & Rayner, K. (1985). The interaction of contextual constraints and parafoveal visual information in reading. *Cognitive Psychology*, *17*, 364-390.
- Bannerman, R. L., Milders, M., de Gelder, B., & Sahraie, A. (2009). Orienting to threat: faster localization of fearful facial expressions and body postures revealed by saccadic eye movements. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *276*(1662), 1635-1641.
- Bannerman, R. L., Milders, M., & Sahraie, A. (2009). Processing emotional stimuli: Comparison of saccadic and manual choice-reaction times. *Cognition and Emotion*, *23*(5), 930-954.
- Bar, M. (2003). A cortical mechanism for triggering top-down facilitation in visual object recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *15*(4), 600-609.
- Barry, R. J. (1977a). The effect of "significance" upon indices of Sokolov's orienting response: A new conceptualisation to replace the OR. *Physiological Psychology*, *5*(2), 209-214.
- Barry, R. J. (1977b). Failure to find evidence of the unitary OR concept with indifferent low-intensity auditory stimuli. *Physiological Psychology*, *5*, 89-96.
- Barry, R. J. (1984). Preliminary Processes in OR Elicitation. *Acta Psychologica*, *55*(2), 109-142.
- Barry, R. J. (1986). Preliminary process theory: Towards an integrated account of the psychophysiology of cognitive processes. *Acta neurobiologiae experimentalis*, *56*(1), 469-484.

- Barry, R. J. (2006). Promise versus reality in relation to the unitary orienting reflex: A case study examining the role of theory in psychophysiology. *International Journal of Psychophysiology*, 62(3), 353-366.
- Barry, R. J. (2009). Habituation of the orienting reflex and the development of Preliminary Process Theory. *Neurobiology of Learning and Memory*, 92(2), 235-242.
- Barry, R. J., Cocker, K. I., Anderson, J. W., Gordon, E., & Rennie, C. (1992). Does the N100 evoked potential really habituate? Evidence from a paradigm appropriate to a clinical setting. *International Journal of Psychophysiology*, 13(1), 9-16.
- Barry, R. J., Feldmann, S., Gordon, E., Cocker, K. I., & Rennie, C. (1993). Elicitation and habituation of the electrodermal orienting response in a short interstimulus interval paradigm. *International Journal of Psychophysiology*, 15(3), 247-253.
- Becker, D. E., & Shapiro, D. (1980). Directing attention toward stimuli affects the P300 but not the orienting response. *Psychophysiology*, 17(4), 385-389.
- Becker, W., & Jürgens, R. (1979). An analysis of the saccadic system by means of double step stimuli. *Vision Research*, 19(9), 967-983.
- Bell, A. H., Fecteau, J. H., & Munoz, D. P. (2004). Using auditory and visual stimuli to investigate the behavioral and neuronal consequences of reflexive covert orienting. *Journal of Neurophysiology*, 91(5), 2172-2184.
- Ben-Shakhar, G., Lieblich, I., & Kugelmass, S. (1975). Detection of information and GSR habituation: An attempt to derive detection efficiency from two habituation curves. *Psychophysiology*, 12(3), 283-288.
- Berlad, I., & Pratt, H. (1995). P300 in response to the subject's own name. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 96(5), 472-474.
- Bernstein, A. S. (1969). To what does the orienting response respond? *Psychophysiology*, 6(3), 338-350.
- Bernstein, A. S. (1979). The orienting response as novelty and significance detector: Reply to O'Gorman. *Psychophysiology*, 16(3), 263-273.
- Bernstein, A. S., Taylor, K. W., & Weinstein, E. (1975). The phasic electrodermal response as a differentiated complex reflecting stimulus significance. *Psychophysiology*, 12(2), 158-169.
- Billings, R. J. (1989). The origin of the occipital lambda wave in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 75(2), 95-113.
- Bisley, J. W. (2011). The neural basis of visual attention. *Journal of Physiology*, 589(1), 49-57.
- Blackford, J. U., Buckholz, J. W., Avery, S. N., & Zald, D. H. (2010). A unique role for the human amygdala in novelty detection. *NeuroImage*, 50(3), 1188-1193.
- Blair, R. C., & Karniski, W. (1993). An alternative method for significance testing of waveform difference potentials. *Psychophysiology*, 30(5), 518-524.
- Bledowski, C., Prvulovic, D., Hoechstetter, K., Scherg, M., Wibrall, M., Goebel, R., et al. (2004). Localizing P300 generators in visual target and distractor processing: a combined event-related potential and functional magnetic resonance imaging study. *Journal of Neuroscience*, 24(42), 9353-9360.
- Boer, L. C., & Weijger, E. C. (1988). Eye movements and stages of processing. *Acta Psychologica*, 67(1), 3-18.
- Bompas, A., & Sumner, P. (2009). Temporal dynamics of saccadic distraction. *Journal of Vision*, 9(9).
- Bonifacci, P., Ricciardelli, P., Lugli, L., & Pellicano, A. (2008). Emotional attention: Effects of emotion and gaze direction on overt orienting of visual attention. *Cognitive Processing*, 9(2), 127-135.
- Bonnet, M., Bradley, M. M., Lang, P. J., & Requin, J. (1995). Modulation of spinal reflexes: Arousal, pleasure, action. *Psychophysiology*, 32(4), 367-372.

- Bordi, F., & LeDoux, J. (1992). Sensory tuning beyond the sensory system: an initial analysis of auditory response properties of neurons in the lateral amygdaloid nucleus and overlying areas of the striatum. *Journal of Neuroscience*, *12*(7), 2493-2503.
- Bordi, F., & LeDoux, J. (1994a). Response properties of single units in areas of rat auditory thalamus that project to the amygdala I: Acoustic discharge patterns and frequency receptive-fields. *Experimental Brain Research*, *98*(2), 261-274.
- Bordi, F., & LeDoux, J. (1994b). Response properties of single units in areas of rat auditory thalamus that project to the amygdala II: Cells receiving convergent auditory and somatosensory inputs and cells antidromically activated by amygdala stimulation. *Experimental Brain Research*, *98*(2), 275-286.
- Bordi, F., LeDoux, J., Clugnet, M. C., & Pavlides, C. (1993). Single-unit activity in the lateral nucleus of the amygdala and overlying areas of the striatum in freely behaving rats: Rates, discharge patterns, and responses to acoustic stimuli. *Behavioural Neuroscience*, *107*(5), 757-769.
- Born, S., & Kerzel, D. (2008). Influence of target and distractor contrast on the remote distractor effect. *Vision Research*, *48*(28), 2805-2816.
- Born, S., & Kerzel, D. (2009). Congruency effects in the remote distractor paradigm: Evidence for top-down modulation. *Journal of Vision*, *9*(9).
- Bradley, M. M., Codispoti, M., Cuthbert, B. N., & Lang, P. J. (2001). Emotion and motivation I: Defensive and appetitive reactions in picture processing. *Emotion*, *1*(3), 276-298.
- Bradley, M. M., Codispoti, M., Sabatinelli, D., & Lang, P. J. (2001). Emotion and motivation II: Sex differences in picture processing. *Emotion*, *1*(3), 300-319.
- Bradley, M. M., Cuthbert, B. N., & Lang, P. J. (1990). Startle reflex modification: Emotion or attention? *Psychophysiology*, *27*(5), 513-522.
- Bradley, M. M., & Lang, P. J. (1994). Measuring emotions: The self-assessment manikin and the semantic differential. *Journal of Behavioral Therapy and Experimental Psychiatry*, *25*(1), 49-59.
- Bradley, M. M., & Lang, P. J. (1999a). Affective norms for English words (ANEW). Stimuli, instruction manual, and affective ratings. Technical Report C-1. Gainesville, FL: The Center for Research in Psychophysiology, University of Florida.
- Bradley, M. M., & Lang, P. J. (1999b). The international affective digitized sounds (IADS). Stimuli, instruction manual, and affective ratings. Technical Report B-2. Gainesville, FL: The Center for Research in Psychophysiology, University of Florida.
- Bradley, M. M., & Lang, P. J. (2007). Affective Norms for English Text (ANET): Affective ratings of text and instruction manual. Technical Report D-1. Gainesville, FL: University of Florida.
- Bradley, M. M., & Lang, P. J. (2008). Emotion and motivation. In J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary & G. G. Bernston (Eds.), *Handbook of Psychophysiology* (3 ed., pp. 581-607). Cambridge: Cambridge University Press.
- Bradley, M. M., Lang, P. J., & Cuthbert, B. N. (1993). Emotion, novelty, and the startle reflex: Habituation in humans. *Behavioural Neuroscience*, *107*(6), 970-980.
- Bradley, M. M., Miccoli, L., Escrig, M. A., & Lang, P. J. (2008). The pupil as a measure of emotional arousal and autonomic activation. *Psychophysiology*, *45*(4), 602-607.
- Bradley, M. M., Moulder, B., & Lang, P. J. (2005). When good things go bad: The reflex physiology of defense. *Psychological Science*, *16*(6), 468-473.
- Bradley, M. M., Sabatinelli, D., Lang, P. J., Fitzsimmons, J. R., King, W., & Desai, P. (2003). Activation of the visual cortex in motivated attention. *Behavioral Neuroscience*, *117*(2), 369-380.
- Brassen, S., Gamer, M., Rose, M., & Buchel, C. (2010). The influence of directed covert attention on emotional face processing. *NeuroImage*, *50*(2), 545-551.
- Broadbent, D. (1971). *Decision and stress*. London: Academic Press.

- Brockmole, J. R., & Henderson, J. M. (2006). Recognition and attention guidance during contextual cueing in real-world scenes: evidence from eye movements. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *59*(7), 1177-1187.
- Brosch, T., Sander, D., & Scherer, K. R. (2007). That baby caught my eye... Attention capture by infant faces. *Emotion*, *7*(3), 685-689.
- Brown, V., Liversedge, S. P., & Findlay, J. M. (2005). The influence of complex distractors in the remote distractor effect. *Spatial Vision*, *18*(4), 499.
- Bruin, K. J., Kenemans, J. L., Verbaten, M. N., & Van der Heijden, A. H. C. (2000). Habituation: An event-related potential and dipole source analysis study. *International Journal of Psychophysiology*, *36*(3), 199-209.
- Budd, T. W., Barry, R. J., Gordon, E., Rennie, C., & Michie, P. T. (1998). Decrement of the N1 auditory event-related potential with stimulus repetition: Habituation vs. refractoriness. *International Journal of Psychophysiology*, *31*(1), 51-68.
- Bunzeck, N. (2006). *Die Verarbeitung neuer Stimuli: Neuronale Grundlagen und Gedächtniseffekte*. Unpublished Dissertation, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Magdeburg.
- Bunzeck, N., & Duzel, E. (2006). Absolute coding of stimulus novelty in the human substantia nigra/VTa. *Neuron*, *51*(3), 369-379.
- Buonocore, A., & McIntosh, R. D. (2008). Saccadic inhibition underlies the remote distractor effect. *Experimental Brain Research*, *191*(1), 117-122.
- Buswell, G. T. (1935). *How people look at pictures*. Chicago: University of Chicago Press.
- Calvo, M. G., & Lang, P. J. (2004). Gaze patterns when looking at emotional pictures: Motivationally biased attention. *Motivation and Emotion*, *28*(3), 221-243.
- Calvo, M. G., & Lundqvist, D. (2008). Facial expressions of emotion (KDEF): Identification under different display-duration conditions. *Behavioral Research Methods*, *40*(1), 109-115.
- Calvo, M. G., & Nummenmaa, L. (2008). Detection of emotional faces: Salient physical features guide effective visual search. *Journal of Experimental Psychology: General*, *137*(3), 471-494.
- Calvo, M. G., Nummenmaa, L., & Hyona, J. (2007). Emotional and neutral scenes in competition: Orienting, efficiency, and identification. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *60*(12), 1585-1593.
- Calvo, M. G., Nummenmaa, L., & Hyona, J. (2008). Emotional scenes in peripheral vision: Selective orienting and gist processing, but not content identification. *Emotion*, *8*(1), 68-80.
- Campbell, B. A., Wood, G., & McBride, T. (1997). Origins of orienting and defensive responses: An evolutionary perspective. In P. J. Lang, R. F. Simons & M. Balaban (Eds.), *Attention and orienting: Sensory and motivational processes* (pp. 41-68). Mahawah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Campbell, R., Elgar, K., Kuntsi, J., Akers, R., Terstegge, J., Coleman, M., et al. (2002). The classification of 'fear' from faces is associated with face recognition skill in women. *Neuropsychologia*, *40*(6), 575-584.
- Campeau, S., & Davis, M. (1995). Involvement of subcortical and cortical afferents to the lateral nucleus of the amygdala in fear conditioning measured with fear-potentiated startle in rats trained concurrently with auditory and visual conditioned stimuli. *Journal of Neuroscience*, *15*(3 Pt 2), 2312-2327.
- Camras, L., Malatesta, C., & Izard, C. (1991). The development of facial expressions in infancy. In R. Feldman & B. Rimé (Eds.), *Fundamentals of nonverbal behavior* (pp. 73-105). New York: Cambridge University Press.
- Carpenter, P. A., & Just, M. A. (1978). Eye fixation during mental rotation. In J. W. Senders, D. F. Fisher & R. A. Monty (Eds.), *Eye movements and the higher psychological functions* (pp. 115-133). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.



- Castelhano, M. S., & Henderson, J. M. (2007). Initial scene representations facilitate eye movement guidance in visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33(4), 753-763.
- Cloninger, C. R. (1994). Temperament and personality. *Current Opinion in Neurobiology*, 4(2), 266-273.
- Cloninger, C. R., Svrakic, D. M., & Przybeck, T. R. (1993). A psychobiological model of temperament and character. *Archives of General Psychiatry*, 50(12), 975-990.
- Colonus, H., & Arndt, P. (2001). A two-stage model for visual-auditory interaction in saccadic latencies. *Perception and Psychophysics*, 63(1), 126-147.
- Corbetta, M., Patel, G., & Shulman, G. L. (2008). The reorienting system of the human brain: from environment to theory of mind. *Neuron*, 58(3), 306-324.
- Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(3), 201-215.
- Corneil, B. D., Olivier, E., & Munoz, D. P. (2002a). Neck muscle responses to stimulation of monkey superior colliculus. I. Topography and manipulation of stimulation parameters. *Journal of Neurophysiology*, 88(4), 1980-1999.
- Corneil, B. D., Olivier, E., & Munoz, D. P. (2002b). Neck muscle responses to stimulation of monkey superior colliculus. II. Gaze shift initiation and volitional head movements. *Journal of Neurophysiology*, 88(4), 2000-2018.
- Costafreda, S. G., Brammer, M. J., David, A. S., & Fu, C. H. Y. (2008). Predictors of amygdala activation during the processing of emotional stimuli: A meta-analysis of 385 PET and fMRI studies. *Brain Research Reviews*, 58(1), 57-70.
- Courchesne, E., Hillyard, S. A., & Galambos, R. (1975). Stimulus novelty, task relevance and the visual evoked potential in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 39(2), 131-143.
- Craik, F. I. M., & Lockhart, R. S. (1972). Levels of processing: A framework of memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11, 671-684.
- Critchley, H. D., Rotshtein, P., Nagai, Y., O'Doherty, J., Mathias, C. J., & Dolan, R. J. (2005). Activity in the human brain predicting differential heart rate responses to emotional facial expressions. *NeuroImage*, 24(3), 751-762.
- Damaraju, E., Huang, Y. M., Barrett, L. F., & Pessoa, L. (2009). Affective learning enhances activity and functional connectivity in early visual cortex. *Neuropsychologia*, 47(12), 2480-2487.
- Damasio, A. R., Grabowski, T. J., Bechara, A., Damasio, H., Ponto, L. L. B., Parvizi, J., et al. (2000). Subcortical and cortical brain activity during the feeling of self-generated emotions. *Nature Neuroscience*, 3(10), 1049-1056.
- Darwin, C. (1872/1950). *The expression of the emotions in man and animals*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Davis, M. (1984). The mammalian startle response. In R. C. Eaton (Ed.), *Neural Mechanisms of Startle Behavior* (pp. 287-351). New York: Plenum Publishing Corporation.
- Davis, M. (1997). Neurobiology of fear responses: The role of the amygdala. *Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neuroscience*, 9(3), 382-402.
- Davis, M., Antoniadis, E. A., Amaral, D. G., & Winslow, J. T. (2008). Acoustic startle reflex in rhesus monkeys: A review. *Reviews in the Neurosciences*, 19(2-3), 171-185.
- De Graef, P. (1998). Prefixational object perception in scenes: Objects popping out of schemas. In G. Underwood (Ed.), *Eye guidance in reading and scene perception* (pp. 313-336). Oxford, UK: Elsevier.
- De Graef, P., Christiaens, D., & d'Ydewalle, G. (1990). Perceptual effects of scene context on object identification. *Psychological Research*, 52, 317-329.
- Dean, P., Redgrave, P., & Westby, G. W. (1989). Event or emergency? Two response systems in the mammalian superior colliculus. *Trends in Neurosciences*, 12(4), 137-147.

- Debener, S., Kranczioch, C., Herrmann, C. S., & Engel, A. K. (2002). Auditory novelty oddball allows reliable distinction of top-down and bottom-up processes of attention. *International Journal of Psychophysiology*, *46*(1), 77-84.
- Delorme, A., & Makeig, S. (2004). EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics. *Journal of Neuroscience Methods*, *134*(1), 9-21.
- Deubel, H., & Schneider, W. X. (1996). Saccade target selection and object recognition: Evidence for a common attentional mechanism. *Vision Research*, *36*(12), 1827-1837.
- Deubel, H., Wolf, W., & Hauske, G. (1984). The evaluation of the oculomotor error signal. In A. G. Gale & F. Johnson (Eds.), *Theoretical and Applied Aspects of Eye Movement Research* (pp. 55-62). Amsterdam: Elsevier.
- Di Russo, F., Martinez, A., Sereno, M. I., Pitzalis, S., & Hillyard, S. A. (2002). Cortical sources of the early components of the visual evoked potential. *Human Brain Mapping*, *15*(2), 95-111.
- Diederich, A., Colonius, H., Bockhorst, D., & Tabeling, S. (2003). Visual-tactile spatial interaction in saccade generation. *Experimental Brain Research*, *148*(3), 328-337.
- Dien, J., Spencer, K. M., & Donchin, E. (2003). Localization of the event-related potential novelty response as defined by principal components analysis. *Brain Research Cognitive Brain Research*, *17*(3), 637-650.
- Dolan, R. J. (2002). Emotion, cognition, and behavior. *Science*, *298*(5596), 1191-1194.
- Dommett, E., Coizet, W., Blaha, C. D., Martindale, J., Lefebvre, W., Walton, N., et al. (2005). How visual stimuli activate dopaminergic neurons at short latency. *Science*, *307*(5714), 1476-1479.
- Donchin, E., & Coles, M. G. H. (1988). Is the P300 Component a Manifestation of Context Updating. *Behavioral and Brain Sciences*, *11*(3), 357-374.
- Doron, N. N., & LeDoux, J. (1999). Organization of projections to the lateral amygdala from auditory and visual areas of the thalamus in the rat. *Journal of Comparative Neurology*, *412*(3), 383-409.
- Dorris, M. C., Pare, M., & Munoz, D. P. (1997). Neuronal activity in monkey superior colliculus related to the initiation of saccadic eye movements. *Journal of Neuroscience*, *17*(21), 8566-8579.
- Doubell, T. P., Skaliora, I., Baron, J., & King, A. J. (2003). Functional connectivity between the superficial and deeper layers of the superior colliculus: An anatomical substrate for sensorimotor integration. *Journal of Neuroscience*, *23*(16), 6596-6607.
- Downar, J., Crawley, A. P., Mikulis, D. J., & Davis, K. D. (2000). A multimodal cortical network for the detection of changes in the sensory environment. *Nature Neuroscience*, *3*(3), 277-283.
- Doyle, M., & Walker, R. (2001). Curved saccade trajectories: Voluntary and reflexive saccades curve away from irrelevant distractors. *Experimental Brain Research*, *139*(3), 333-344.
- Dux, P. E., & Marois, R. (2009). The attentional blink: A review of data and theory. *Attention, Perception and Psychophysics*, *71*(8), 1683-1700.
- Eimer, M. (2000). Attentional modulations of event-related brain potentials sensitive to faces. *Cognitive Neuropsychology*, *17*(1-3), 103-116.
- Einhauser, W., Rutishauser, U., & Koch, C. (2008). Task-demands can immediately reverse the effects of sensory-driven saliency in complex visual stimuli. *Journal of Vision*, *8*(2).
- Ekman, P. (1984). Expression and the nature of emotion. In K. R. Scherer & P. P. Ekman (Eds.), *Approaches to emotion* (pp. 319-344). Hillsdale: Erlbaum.
- Ekman, P. (1992). An Argument for Basic Emotions. *Cognition and Emotion*, *6*(3-4), 169-200.
- Ekman, P., & Friesen, W. V. (1978). *Facial action coding system: A technique for the measurement of facial movement*. Palo Alto: Consulting Psychologists Press.
- Ekman, P., & Friesen, W. V. (1979). Pictures of facial affect. Palo Alto, CA: Consulting Psychologist.

- Ekman, P., Friesen, W. V., Osullivan, M., Chan, A., Diacyoyannitarlantzis, I., Heider, K., et al. (1987). Universals and cultural-differences in the judgments of facial expressions of emotion. *Journal of Personality and Social Psychology*, 53(4), 712-717.
- Engbert, R., Nuthmann, A., Richter, E. M., & Kliegl, R. (2005). SWIFT: A dynamical model of saccade generation during reading. *Psychological Review*, 112(4), 777-813.
- Esslen, M., Pascual-Marqui, R. D., Hell, D., Kochi, K., & Lehmann, D. (2004). Brain areas and time course of emotional processing. *NeuroImage*, 21(4), 1189-1203.
- Esteves, F., Dimberg, U., & Öhman, A. (1994). Automatically elicited fear: Conditioned skin-conductance responses to masked facial expressions. *Cognition and Emotion*, 8(5), 393-413.
- Esteves, F., & Öhman, A. (1993). Masking the face: Recognition of emotional facial expressions as a function of the parameters of backward-masking. *Scandinavian Journal of Psychology*, 34(1), 1-18.
- Eysenck, H. J. (1967). *The Biological Basis of Personality*. Springfield, IL: Ch. Thomas.
- Eysenck, H. J. (1981). General features of the model. In H. J. Eysenck (Ed.), *A Model for Personality* (pp. 1-37). Berlin: Springer.
- Fabiani, M., Gratton, G., & Federmeier, K. D. (2008). Event-related brain potentials: Methods, theory, and applications. In J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary & G. G. Bernston (Eds.), *Handbook of Psychophysiology* (3 ed., pp. 85-119). Cambridge: Cambridge University Press.
- Fanselow, M. S. (1994). Neural organization of the defensive behavior system responsible for fear. *Psychonomic Bulletin and Review*, 1(4), 429-438.
- Findlay, J. M. (1982). Global visual processing for saccadic eye movements. *Vision Research*, 22, 1033-1045.
- Findlay, J. M., & Gilchrist, I. D. (2003). *Active vision: The psychology of looking and seeing*. London: Oxford University Press.
- Findlay, J. M., & Walker, R. (1999). A model of saccade generation based on parallel processing and competitive inhibition. *Behavioral and Brain Sciences*, 22(4), 661-721.
- Fish, S. E., & Chalupa, L. M. (1979). Functional properties of pulvina-lateral posterior neurons which receive input from the superior colliculus. *Experimental Brain Research*, 36(2), 245-257.
- Flykt, A. (2005). Visual search with biological threat stimuli: Accuracy, reaction times, and heart rate changes. *Emotion*, 5(3), 349-353.
- Flykt, A. (2006). Preparedness for action: responding to the snake in the grass. *American Journal of Psychology*, 119(1), 29-43.
- Fourment, A., Calvet, J., & Bancaud, J. (1976). Electroencephalography of waves associated with eye movements in man during wakefulness. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 40(5), 457-469.
- Fox, E., Griggs, L., & Mouchlianitis, E. (2007). The detection of fear-relevant stimuli: are guns noticed as quickly as snakes? *Emotion*, 7(4), 691-696.
- Fox, E., Russo, R., Bowles, R., & Dutton, K. (2001). Do threatening stimuli draw or hold visual attention in subclinical anxiety? *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(4), 681-700.
- Fox, E., Russo, R., & Dutton, K. (2002). Attentional bias for threat: Evidence for delayed disengagement from emotional faces. *Cognition and Emotion*, 16(3), 355-379.
- Freunberger, R., Klimesch, W., Doppelmayr, M., & Holler, Y. (2007). Visual P2 component is related to theta phase-locking. *Neuroscience Letters*, 426(3), 181-186.
- Friedman, D., Cycowicz, Y. M., & Gaeta, H. (2001). The novelty P3: An event-related brain potential (ERP) sign of the brain's evaluation of novelty. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 25(4), 355-373.
- Frischen, A., Eastwood, J. D., & Smilek, D. (2008). Visual search for faces with emotional expressions. *Psychological Bulletin*, 134(5), 662-676.

- Fruhstorfer, H. (1971). Habituation and dishabituation of the human vertex response. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 30(4), 306-312.
- Gard, M. G., & Kring, A. M. (2007). Sex differences in the time course of emotion. *Emotion*, 7(2), 429-437.
- Gatchel, R. J. (1975). Effects of interstimulus interval length on short-term and long-term habituation of autonomic components of orienting response. *Physiological Psychology*, 3(2), 133-136.
- Gatchel, R. J., & Lang, P. J. (1974). Effects of interstimulus interval length and variability on habituation of autonomic components of the orienting response. *Journal of Experimental Psychology*, 103(4), 802-804.
- Gati, I., & Ben-Shakhar, G. (1990). Novelty and significance in orientation and habituation: A feature-matching approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, 119(3), 251-263.
- Geer, J. H. (1966). Effect of interstimulus intervals and rest-period length upon habituation of the orienting response. *Journal of Experimental Psychology*, 72(4), 617-619.
- Geisler, M. W., & Polich, J. (1994). P300 habituation from visual stimuli? *Physiology of Behavior*, 56(3), 511-516.
- Goeleven, E., De Raedt, R., Leyman, L., & Verschuere, B. (2008). The Karolinska Directed Emotional Faces: A validation study. *Cognition and Emotion*, 22(6), 1094 - 1118.
- Goldberg, M. E., & Wurtz, R. H. (1972). Activity of superior colliculus in behaving monkey. II. Effect of attention on neuronal responses. *Journal of Neurophysiology*, 35(4), 560-574.
- Goldstein, A., Spencer, K. M., & Donchin, E. (2002). The influence of stimulus deviance and novelty on the P300 and novelty P3. *Psychophysiology*, 39(6), 781-790.
- Goldwater, B. C., & Lewis, J. (1978). Effects of arousal on habituation of the electrodermal orienting reflex. *Psychophysiology*, 15(3), 221-225.
- Goodale, M. A., & Murison, R. C. (1975). The effects of lesions of the superior colliculus on locomotor orientation and the orienting reflex in the rat. *Brain Research*, 88(2), 243-261.
- Gordon, I. E. (1967). Stimulus probability and simple reaction time. *Nature*, 215(5103), 895-896.
- Graham, F. K. (1979). Distinguishing between orienting, defense and startle reflexes. In H. D. Kimmel, E. H. van Holst & J. F. Orlebeke (Eds.), *The orienting reflex in humans* (pp. 137-167). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Graham, F. K., & Clifton, R. K. (1966). Heart-rate change as a component of the orienting response. *Psychological Bulletin*, 65(5), 305-320.
- Gratton, G. (1998). Dealing with artifacts: The EOG contamination of the event-related brain potential. *Behavior Research Methods Instruments and Computers*, 30(1), 44-53.
- Gratton, G., Coles, M. G. H., & Donchin, E. (1983). A new method for off-line removal of ocular artifact. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 55(4), 468-484.
- Groh, J. M., & Sparks, D. L. (1996). Saccades to somatosensory targets .I. Behavioral characteristics. *Journal of Neurophysiology*, 75(1), 412-427.
- Groves, P. M., & Thompson, R. F. (1970). Habituation: A dual-process theory. *Psychological Review*, 77(5), 419-450.
- Habib, R., McIntosh, A. R., Wheeler, M. A., & Tulving, E. (2003). Memory encoding and hippocampally-based novelty/familiarity discrimination networks. *Neuropsychologia*, 41(3), 271-279.
- Hamm, A. O., Cuthbert, B. N., Globisch, J., & Vaitl, D. (1997). Fear and the startle reflex: Blink modulation and autonomic response patterns in animal and mutilation fearful subjects. *Psychophysiology*, 34(1), 97-107.
- Hampson, E., van Anders, S. M., & Mullin, L. I. (2006). A female advantage in the recognition of emotional facial expressions: test of an evolutionary hypothesis. *Evolution and Human Behavior*, 27, 401-416.

- Hansen, C. H., & Hansen, R. D. (1988). Finding the face in the crowd: An anger superiority effect. *Journal of Personality and Social Psychology, 54*(6), 917-924.
- Harding, G. B., & Rundle, G. R. (1969). Long-term retention of modality- and nonmodality-specific habituation of the GSR. *Journal of Experimental Psychology, 82*(2), 390-392.
- Hariri, A. R., Bookheimer, S. Y., & Mazziotta, J. C. (2000). Modulating emotional responses: effects of a neocortical network on the limbic system. *Neuroreport, 11*, 43-48.
- Harrington, L. K., & Peck, C. K. (1998). Spatial disparity affects visual-auditory interactions in human sensorimotor processing. *Experimental Brain Research, 122*(2), 247-252.
- Hawk, L. W., & Cook, E. W. (1997). Affective modulation of tactile startle. *Psychophysiology, 34*(1), 23-31.
- Hebb, D. O. (1949). *The organization of behavior: A neurophysiological theory*. New York: Wiley.
- Heinze, H. J., Luck, S. J., Mangun, G. R., & Hillyard, S. A. (1990). Visual event-related potentials index focused attention within bilateral stimulus arrays. I. Evidence for early selection. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 75*(6), 511-527.
- Henderson, J. M., & Smith, T. J. (2009). How are eye fixation durations controlled during scene viewing? Further evidence from a scene onset delay paradigm. *Visual Cognition, 17*(6-7), 1055-1082.
- Hermans, D., Vansteenwegen, D., & Eelen, P. (1999). Eye movement registration as a continuous index of attention deployment: Data from a group of spider anxious students. *Cognition and Emotion, 13*(4), 419-434.
- Herrmann, M. J., Huter, T., Plichta, M. M., Ehlis, A. C., Alpers, G. W., Muhlberger, A., et al. (2008). Enhancement of activity of the primary visual cortex during processing of emotional stimuli as measured with event-related functional near-infrared spectroscopy and event-related potentials. *Human Brain Mapping, 29*(1), 28-35.
- Hickey, C., Di Lollo, V., & McDonald, J. J. (2009). Electrophysiological indices of target and distractor processing in visual search. *Journal of Cognitive Neuroscience, 21*(4), 760-775.
- Hikosaka, O., & Wurtz, R. H. (1983a). Visual and oculomotor functions of monkey substantia nigra pars reticulata. I. Relation of visual and auditory responses to saccades. *Journal of Neurophysiology, 49*(5), 1230-1253.
- Hikosaka, O., & Wurtz, R. H. (1983b). Visual and oculomotor functions of monkey substantia nigra pars reticulata. IV. Relation of substantia nigra to superior colliculus. *Journal of Neurophysiology, 49*(5), 1285-1301.
- Hofmann, S. G., Suvak, M., & Litz, B. T. (2006). Sex differences in face recognition and influence of facial affect. *Personality and Individual Differences, 40*, 1683-1690.
- Holland, P. C., & Gallagher, M. (2006). Different roles for amygdala central nucleus and substantia innominata in the surprise-induced enhancement of learning. *Journal of Neuroscience, 26*(14), 3791-3797.
- Holmes, A., Vuilleumier, P., & Eimer, M. (2003). The processing of emotional facial expression is gated by spatial attention: Evidence from event-related brain potentials. *Cognitive Brain Research, 16*(2), 174-184.
- Horstmann, G., & Bauland, A. (2006). Search asymmetries with real faces: Testing the anger-superiority effect. *Emotion, 6*(2), 193-207.
- Iacono, W. G., & Lykken, D. T. (1984). The effects of instructions and an engaging visual task on habituation to loud tones: An evaluation of an alternative to the traditional habituation paradigm. *Physiological Psychology, 12*, 23-29.
- Ignashchenkova, A., Dicke, P. W., Haarmeier, T., & Thier, P. (2004). Neuron-specific contribution of the superior colliculus to overt and covert shifts of attention. *Nature Neuroscience, 7*(1), 56-64.
- Ilg, U. J., Jin, Y., Schumann, S., & Schwarz, U. (2006). Preparation and execution of saccades: the problem of limited capacity of computational resources. *Experimental Brain Research, 171*(1), 7-15.

- Ingle, D. (1967). Two visual mechanisms underlying the behavior of fish. *Psychologische Forschung*, 31(1), 44-51.
- Irwin, D. E., & Brockmole, J. R. (2004). Suppressing where but not what: The effect of saccades on dorsal- and ventral-stream visual processing. *Psychological Science*, 15(7), 467-473.
- Irwin, D. E., Carlson, L. A., & Andrews, R. V. (1995). Information processing during saccadic eye movements. *Acta Psychologica*, 90(1-3), 261-273.
- Irwin, D. E., Colcombe, A. M., Kramer, A. F., & Hahn, S. (2000). Attentional and oculomotor capture by onset, luminance and color singletons. *Vision Research*, 40(10-12), 1443-1458.
- Irwin, D. E., & Gordon, R. D. (1998). Eye movements, attention and trans-saccadic memory. *Visual Cognition*, 5(1-2), 127-155.
- Isa, T., & Sparks, D. L. (2006). Microcircuit of the superior colliculus. A neuronal machine that determines timing and endpoint of saccadic eye movements. In S. Grillner & A. M. Graybiel (Eds.), *Microcircuits: The interface between neurons and global brain function* (pp. 5-34). Cambridge: MIT Press.
- Itti, L., & Koch, C. (2000). A saliency-based search mechanism for overt and covert shifts of visual attention. *Vision Research*, 40(10-12), 1489-1506.
- Izard, C. E. (1977). *Human Emotions*. New York: Plenum Press.
- James, W. (1890/1950). *Principles of Psychology* (Vol. 2). New York: Dover.
- Joos, M., Rötting, M., & Velichkovsky, B. M. (2002). Die Bewegungen des menschlichen Auges: Fakten, Methoden, innovative Anwendungen. In T. Herrmann, S. Deutsch & G. Rickheit (Eds.), *Handbuch der Psycholinguistik* (pp. 142-168). Berlin/NY: De Greyter.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1976). Eye fixation and cognitive processes. *Cognitive Psychology*, 8, 441-480.
- Juth, P., Lundqvist, D., Karlsson, A., & Ohman, A. (2005). Looking for foes and friends: Perceptual and emotional factors when finding a face in the crowd. *Emotion*, 5(4), 379-395.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Katyal, S., Zughni, S., Greene, C., & Ress, D. (2010). Topography of covert visual attention in human superior colliculus. *Journal of Neurophysiology*, 104(6), 3074-3083.
- Kazai, K., & Yagi, A. (2003). Comparison between the lambda response of eye-fixation-related potentials and the P100 component of pattern-reversal visual evoked potentials. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*, 3(1), 46-56.
- Kececi, H., Degirmenci, Y., & Atakay, S. (2006). Habituation and dishabituation of P300. *Cognitive and Behavioral Neurology*, 19(3), 130-134.
- Kekoni, J., Tiihonen, J., & Hamalainen, H. (1992). Fast decrement with stimulus repetition in ERPs generated by neuronal systems involving somatosensory SI and SII cortices: Electric and magnetic evoked response recordings in humans. *International Journal of Psychophysiology*, 12(3), 281-288.
- Kenemans, J. L., Verbaten, M. N., Roelofs, J.-W., & Slangen, J. L. (1989). Initial- and change-orienting reactions: An analysis based on visual single-trial event-related potentials. *Biological Psychology*, 28(3), 199-226.
- King, A. J. (2004). The superior colliculus. *Current Biology*, 14(9), R335-338.
- Kleinginna, P. R., & Kleinginna, A. M. (1981). A categorized list of emotion definitions, with suggestions for a consensual definition. *Motivation and Emotion*, 5, 345-379.
- Kolassa, I. T., Buchmann, A., Lauche, R., Kolassa, S., Partchev, I., Miltner, W. H., et al. (2007). Spider phobics more easily see a spider in morphed schematic pictures. *Behavioral Brain Functions*, 3, 59.
- Kotchoubey, B. (2006). Event-related potentials, cognition, and behavior: A biological approach. *Neuroscience Biobehavioral Review*, 30(1), 42-65.
- Land, M. F., & Tatler, B. W. (2009). *Looking and Acting*. Oxford: Oxford University Press.

- Lang, P. J., Bradley, M. M., & Cuthbert, B. N. (1990). Emotion, attention, and the startle reflex. *Psychological Review*, *97*(3), 377-395.
- Lang, P. J., Bradley, M. M., & Cuthbert, B. N. (2005). International affective picture system (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual, Technical Report A-6. Gainesville, FL: University of Florida.
- Lang, P. J., Bradley, M. M., Fitzsimmons, J. R., Cuthbert, B. N., Scott, J. D., Moulder, B., et al. (1998). Emotional arousal and activation of the visual cortex: An fMRI analysis. *Psychophysiology*, *35*(2), 199-210.
- Lang, P. J., & Davis, M. (2006). Emotion, motivation, and the brain: Reflex foundations in animal and human research. *Progress in Brain Research*, *156*, 3-29.
- Lang, P. J., Greenwald, M. K., Bradley, M. M., & Hamm, A. O. (1993). Looking at pictures: Affective, facial, visceral, and behavioral reactions. *Psychophysiology*, *30*(3), 261-273.
- Lange, K., Williams, L. M., Young, A. W., Bullmore, E. T., Brammer, M. J., Williams, S. C., et al. (2003). Task instructions modulate neural responses to fearful facial expressions. *Biological Psychiatry*, *53*(3), 226-232.
- Laurian, S., & Gaillard, J. M. (1976). Habituation of visually evoked responses in man: A study of its time course. *Neuropsychobiology*, *2*(5-6), 297-306.
- Lazarus, R. S. (1974). Cognitive and coping processes in emotion. In B. Weiner (Ed.), *Cognitive views of human motivation* (pp. 21-32). New York: Academic Press.
- LeDoux, J. (1992). Brain mechanisms of emotion and emotional learning. *Current Opinions in Neurobiology*, *2*(2), 191-197.
- LeDoux, J. (1996). *The emotional brain: The mysterious underpinnings of emotional life*. New York: Simon & Schuster.
- LeDoux, J. (2000). Emotion circuits in the brain. *Annual Review in Neuroscience*, *23*, 155-184.
- LeDoux, J. (2003). The emotional brain, fear, and the amygdala. *Cellular and Molecular Neurobiology*, *23*(4-5), 727-738.
- Lehtonen, J. B. (1973). Functional differentiation between late components of visual evoked potentials recorded at occiput and vertex: Effect of stimulus interval and contour. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, *35*(1), 75-82.
- Lévy-Schoen, A. (1969). Determination and latency of oculo-motor response to simultaneous and successive stimuli according to their relative eccentricity. *Annee Psychologique*, *69*(2), 373-392.
- Li, F. F., VanRullen, R., Koch, C., & Perona, P. (2002). Rapid natural scene categorization in the near absence of attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, *99*(14), 9596-9601.
- Libkuman, T. M., Otani, H., Kern, R., Viger, S. G., & Novak, N. (2007). Multidimensional normative ratings for the International Affective Picture System. *Behavioral Research Methods*, *39*(2), 326-334.
- Linke, R., De Lima, A. D., Schwegler, H., & Pape, H. C. (1999). Direct synaptic connections of axons from superior colliculus with identified thalamo-amygdaloid projection neurons in the rat: Possible substrates of a subcortical visual pathway to the amygdala. *Journal of Comparative Neurology*, *403*(2), 158-170.
- Lipp, O. V., Derakshan, N., Waters, A. M., & Logies, S. (2004). Snakes and cats in the flower bed: Fast detection is not specific to pictures of fear-relevant animals. *Emotion*, *4*(3), 233-250.
- Loftus, G. R., & Mackworth, N. H. (1978). Cognitive determinants of fixation location during picture viewing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *4*, 565-572.
- Loveless, N. (1983). The orienting response and evoked potentials in man. In D. A. Siddle (Ed.), *Orienting and habituation: Perspectives in human research* (pp. 71-108). New York: John Wiley & Sons Ltd.

- Luck, S. J., Heinze, H. J., Mangun, G. R., & Hillyard, S. A. (1990). Visual event-related potentials index focused attention within bilateral stimulus arrays. II. Functional dissociation of P1 and N1 components. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 75(6), 528-542.
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1994a). Electrophysiological correlates of feature analysis during visual search. *Psychophysiology*, 31(3), 291-308.
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1994b). Spatial filtering during visual search: Evidence from human electrophysiology. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20(5), 1000-1014.
- Ludwig, C. J., Gilchrist, I. D., & McSorley, E. (2005). The remote distractor effect in saccade programming: Channel interactions and lateral inhibition. *Vision Research*, 45(9), 1177-1190.
- Lundqvist, D., Flykt, A., & Öhman, A. (1998). The Karolinska Directed Emotional Faces - KDEF, CD ROM from Department of Clinical Neuroscience, Psychology section, Karolinska Institutet.
- Lundqvist, D., & Öhman, A. (2005). Emotion regulates attention: The relation between facial configurations, facial emotion, and visual attention. *Visual Cognition*, 12(1), 51-84.
- Lundqvist, D., & Öhman, A. (2005). Caught by the Evil Eye: Nonconscious Information Processing, Emotion and Attention to Facial Stimuli. In L. Feldman Barrett, P. M. Niedenthal & P. Winkielman (Eds.), *Emotion and Consciousness* (pp. 97-122). NY: Guilford Press.
- Mackworth, N. H., & Morandi, A. J. (1967). Gaze Selects Informative Details within Pictures. *Perception and Psychophysics*, 2(11), 547-552.
- Maltzman, I. (1979a). Orienting reflexes and classical conditioning in humans. In H. D. Kimmel, E. H. Van Olst & J. F. Orbeleke (Eds.), *The orienting reflex in humans*. New York: Lawrence Erlbaum Associates.
- Maltzman, I. (1979b). Orienting reflexes and significance: A reply to O'Gorman. *Psychophysiology*, 16(3), 274-282.
- Mangun, G. R., & Hillyard, S. A. (1990). Allocation of visual attention to spatial locations: tradeoff functions for event-related brain potentials and detection performance. *Perception and Psychophysics*, 47(6), 532-550.
- Marx, J., Pannasch, S., & Velichkovsky, B. M. (2003, September 1-5). *Event-related prolongation of fixation duration: Evidence for habituation of the intermodal distractor effect*. Paper presented at the 26th European Conference on Visual Perception, Paris/France.
- Marx, J., Pieper, L., Pannasch, S., & Velichkovsky, B. M. (2005, July). *The multimodal distractor effect: Also elicited by visual and somatosensory distractors*. Paper presented at the 13. European Conference on Eye Movement, Bern, Switzerland.
- Matin, E. (1974). Saccadic suppression: A review and an analysis. *Psychological Bulletin*, 81(12), 899-917.
- Matsumoto, D., & Ekman, P. (1989). American-japanese cultural differences in intensity ratings of facial expressions of emotion. *Motivation and Emotion*, 13(2), 143-157.
- Matsumoto, D., Keltner, D., Shiota, M. N., O'Sullivan, M., & Frank, M. (2008). Facial expressions of emotion. In M. Lewis, J. M. Haviland-Jones & L. Feldman-Barrett (Eds.), *Handbook of emotions* (3 ed., pp. 211-234). New York: The Guilford Press.
- McBain, R., Norton, D., & Chen, Y. (2009). Females excel at basic face perception. *Acta Psychologica*, 130(2), 168-173.
- McClure, E. B. (2000). A meta-analytic review of sex differences in facial expression processing and their development in infants, children, and adolescents. *Psychological Bulletin*, 126(3), 424-453.
- McConkie, G. W., & Rayner, K. (1975). The span of the effective stimulus during a fixation in reading. *Perception and Psychophysics*, 17(6), 578-586.
- McConkie, G. W., Reddix, M. D., & Zola, D. (1992). Perception and cognition in reading: Where is the meeting point? In K. Rayner (Ed.), *Eye movements and visual cognition: scene perception and reading* (pp. 293-303). NY: Springer Verlag.



- McDowell, J. E., Dyckman, K. A., Austin, B. P., & Clementz, B. A. (2008). Neurophysiology and neuroanatomy of reflexive and volitional saccades: Evidence from studies of humans. *Brain and Cognition*, 68(3), 255-270.
- McLeod, P. (1977). A dual task response modality effect: Support for multiprocessor models of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 29(Nov), 651-667.
- McPeck, R. M., & Keller, E. L. (2001). Short-term priming, concurrent processing, and saccade curvature during a target selection task in the monkey. *Vision Research*, 41(6), 785-800.
- McPeck, R. M., Skavenski, A. A., & Nakayama, K. (2000). Concurrent processing of saccades in visual search. *Vision Research*, 40(18), 2499-2516.
- McSorley, E., Haggard, P., & Walker, R. (2004). Distractor modulation of saccade trajectories: Spatial separation and symmetry effects. *Experimental Brain Research*, 155(3), 320-333.
- Meredith, M. A. (1999). The frontal eye fields target multisensory neurons in cat superior colliculus. *Experimental Brain Research*, 128(4), 460-470.
- Milner, A. D., & Goodale, M.-A. (1995). *The visual brain in action*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Milner, A. D., & Goodale, M. A. (2008). Two visual systems reviewed. *Neuropsychologia*, 46(3), 774-785.
- Miltner, W. H. R., Krieschel, S., Hecht, H., Trippe, R., & Weiss, T. (2004). Eye movements and behavioral responses to threatening and nonthreatening stimuli during visual search in phobic and nonphobic subjects. *Emotion*, 4(4), 323-339.
- Mogg, K., Millar, N., & Bradley, B. P. (2000). Biases in eye movements to threatening facial expressions in generalized anxiety disorder and depressive disorder. *Journal of Abnormal Psychology*, 109(4), 695-704.
- Mohanty, A., Egner, T., Monti, J. M., & Mesulam, M. M. (2009). Search for a threatening target triggers limbic guidance of spatial attention. *Journal of Neuroscience*, 29(34), 10563-10572.
- Mohanty, A., Engels, A. S., Herrington, J. D., Heller, W., Ho, M. H. R., Banich, M. T., et al. (2007). Differential engagement of anterior cingulate cortex subdivisions for cognitive and emotional function. *Psychophysiology*, 44(3), 343-351.
- Montagne, B., Kessels, R. P., Frigerio, E., de Haan, E. H., & Perrett, D. I. (2005). Sex differences in the perception of affective facial expressions: Do men really lack emotional sensitivity? *Cognitive Processing*, 6(2), 136-141.
- Morris, J. S., DeGelder, B., Weiskrantz, L., & Dolan, R. J. (2001). Differential extrageniculostriate and amygdala responses to presentation of emotional faces in a cortically blind field. *Brain*, 124(Pt 6), 1241-1252.
- Morris, J. S., Ohman, A., & Dolan, R. J. (1999). A subcortical pathway to the right amygdala mediating "unseen" fear. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 96(4), 1680-1685.
- Most, S. B., Chun, M. M., Widders, D. M., & Zald, D. H. (2005). Attentional rubbernecking: Cognitive control and personality in emotion-induced blindness. *Psychonomic Bulletin and Review*, 12(4), 654-661.
- Most, S. B., Smith, S. D., Cooter, A. B., Levy, B. N., & Zald, D. H. (2007). The naked truth: Positive, arousing distractors impair rapid target perception. *Cognition and Emotion*, 21(5), 964-981.
- Munoz, D. P., Dorris, M. C., Pare, M., & Everling, S. (2000). On your mark, get set: Brainstem circuitry underlying saccadic initiation. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 78(11), 934-944.
- Munoz, D. P., & Everling, S. (2004). Look away: The anti-saccade task and the voluntary control of eye movement. *Nature Reviews Neuroscience*, 5(3), 218-228.
- Munoz, D. P., & Istvan, P. J. (1998). Lateral inhibitory interactions in the intermediate layers of the monkey superior colliculus. *Journal of Neurophysiology*, 79(3), 1193-1209.

- Munoz, D. P., Waitzman, D. M., & Wurtz, R. H. (1996). Activity of neurons in monkey superior colliculus during interrupted saccades. *Journal of Neurophysiology*, 75(6), 2562-2580.
- Murphy, F. C., Nimmo-Smith, I., & Lawrence, A. D. (2003). Functional neuroanatomy of emotions: A meta-analysis. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*, 3(3), 207-233.
- Näätänen, R., & Picton, T. (1987). The N1 wave of the human electric and magnetic response to sound: A review and an analysis of the component structure. *Psychophysiology*, 24(4), 375-425.
- Nakamura, K., Mikami, A., & Kubota, K. (1992). Activity of single neurons in the monkey amygdala during performance of a visual-discrimination task. *Journal of Neurophysiology*, 67(6), 1447-1463.
- Nelson, D. A., & Lassman, F. M. (1968). Effects of intersignal interval on the human auditory evoked response. *Journal of the Acoustical Society of America*, 44(6), 1529-1532.
- Nelson, W. W., & Loftus, G. R. (1980). The functional visual field during picture viewing. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 6(4), 391-399.
- Niedenthal, P. M., Krauth-Gruber, S., & Ric, F. (2006). *Psychology of emotions: Interpersonal, experiential, and cognitive approaches*. New York & Hove: Psychology Press.
- Nielen, M. M. A., Heslenfeld, D. J., Heinen, K., Van Strien, J. W., Witter, M. P., Jonker, C., et al. (2009). Distinct brain systems underlie the processing of valence and arousal of affective pictures. *Brain and Cognition*, 71(3), 387-396.
- Norman, J. (2002). Two visual systems and two theories of perception: An attempt to reconcile the constructivist and ecological approaches. *Behavioral and Brain Sciences*, 25(1), 73-144.
- Nummenmaa, L., Hyona, J., & Calvo, M. G. (2006). Eye movement assessment of selective attentional capture by emotional pictures. *Emotion*, 6(2), 257-268.
- Nummenmaa, L., Hyona, J., & Calvo, M. G. (2009). Emotional scene content drives the saccade generation system reflexively. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(2), 305-323.
- O'Gorman, J. G. (1979). The orienting reflex: Novelty or significance detector? *Psychophysiology*, 16(3), 253-262.
- Oatley, K., & Johnson-Laird, P. N. (1987). Towards a cognitive theory of emotions. *Cognition and Emotion*, 1(29-50).
- Ofek, E., & Pratt, H. (2005). Neurophysiological correlates of subjective significance. *Clinical Neurophysiology*, 116(10), 2354-2362.
- Öhman, A. (1979). The orienting response, attention, and learning: An information-processing perspective. In H. D. Kimmel, E. H. Van Olst & J. F. Orlebeke (Eds.), *The orienting reflex in humans*. New York: Lawrence Erlbaum Associates.
- Öhman, A. (1986). Face the beast and fear the face: Animal and social fears as prototypes for evolutionary analyses of emotion. *Psychophysiology*, 23(2), 123-145.
- Öhman, A. (2002). Automaticity and the amygdala: Nonconscious responses to emotional faces. *Current Directions in Psychological Science*, 11(2), 62.
- Öhman, A., Eriksson, A., Fredriksson, M., Hugdahl, K., & Olofsson, C. (1974). Habituation of the electrodermal orienting reaction to potentially phobic and supposedly neutral stimuli in normal human subjects. *Biological Psychology*, 2(2), 85-93.
- Ohman, A., Flykt, A., & Esteves, F. (2001). Emotion drives attention: Detecting the snake in the grass. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(3), 466-478.
- Öhman, A., Flykt, A., & Lundqvist, D. (2000). Unconscious emotion: Evolutionary perspectives, psychophysiological data, and neurophysiological mechanisms. In R. D. Lane & L. Nagel (Eds.), *Cognitive neuroscience of emotion* (pp. 296-327). New York: Oxford University Press.
- Öhman, A., Lundqvist, D., & Esteves, F. (2001). The face in the crowd revisited: A threat advantage with schematic stimuli. *Journal of Personality and Social Psychology*, 80(3), 381-396.

- Orlebeke, J. F., & Passchier, J. (1976). Organismic, stimulus and task determinants of phasic and tonic heart rate and skin conductance changes. *Biological Psychology*, 4(3), 173-184.
- Osgood, C., Suci, G., & Tannenbaum, P. (1957). *The measurement of meaning*. Urbana, IL: University of Illinois Press.
- Otto, J. H., Euler, H. A., & Mandl, H. (2000). Begriffsbestimmungen. In J. H. Otto, H. A. Euler & H. Mandl (Eds.), *Handbuch Emotionspsychologie* (pp. 11-18). Weinheim: Beltz, PsychologieVerlagsUnion.
- Packer, J. S., & Siddle, D. A. (1987). The effects of signal value on short- and long-term habituation. *Biological Psychology*, 24(3), 261-273.
- Palermo, R., & Rhodes, G. (2007). Are you always on my mind? A review of how face perception and attention interact. *Neuropsychologia*, 45(1), 75-92.
- Panksepp, J. (1982). Toward a general psychobiological theory of emotions. *The Behavioral and Brain Science*, 5, 407-467.
- Panksepp, J. (1998). *Affective neuroscience: The foundations of human and animal emotions*. New York: Oxford University Press.
- Panksepp, J. (2000). The neuro-evolutionary cusp between emotions and cognitions: Implications for understanding consciousness and the emergence of a unified mind science. *Consciousness and Emotion*, 1(1), 15-54.
- Pannasch, S. (2003). *Ereignisbezogene Veränderungen der visuellen Fixationsdauer*. Unpublished Dissertationsschrift, Technische Universität Dresden.
- Pannasch, S., Dornhoefer, S. M., Unema, P. J. A., & Velichkovsky, B. M. (2001). The omnipresent prolongation of visual fixations: Saccades are inhibited by changes in situation and in subject's activity. *Vision Research*, 41(25-26), 3345-3351.
- Pannasch, S., Helmert, J. R., Roth, K., Herbold, A.-K., & Walter, H. (2008). Visual fixation durations and saccadic amplitudes: Shifting relationship in a variety of conditions. *Journal of Eye Movement Research*, 2(2), 4:1-19.
- Pannasch, S., Schulz, J., & Velichkovsky, B. M. (2011). On the control of visual fixation durations in free viewing of complex images. *Attention, Perception and Psychophysics*, 73(4), 1120-1132.
- Pannasch, S., & Velichkovsky, B. M. (2009). Distractor effect and saccade amplitudes: Further evidence on different modes of processing in free exploration of visual images. *Visual Cognition*, 17(6&7), 1109 - 1131.
- Parasuraman, R., Warm, J. S., & See, J. E. (2000). Brain systems of vigilance. In R. Parasuraman (Ed.), *The attentive brain* (pp. 221-255). Cambridge, MA: The MIT Press.
- Parkhurst, D., Law, K., & Niebur, E. (2002). Modeling the role of salience in the allocation of overt visual attention. *Vision Research*, 42(1), 107-123.
- Pashler, H., & Johnston, J. C. (1998). Attentional limitations in dual-task performance. In H. Pashler (Ed.), *Attention* (pp. 155-190). Hove: Psychology Press Ltd.
- Pavlov, I. P. (1927). *Conditioned reflexes: an investigation of the physiological activity of the cerebral cortex*. Oxford: Oxford University Press.
- Pazo-Alvarez, P., Cadaveira, F., & Amenedo, E. (2003). MMN in the visual modality: A review. *Biological Psychology*, 63(3), 199-236.
- Peck, C. K. (1996). Visual-auditory integration in cat superior colliculus: Implications for neuronal control of the orienting response. *Progress in Brain Research*, 112, 167-177.
- Perez-Gonzalez, D., Malmierca, M. S., & Covey, E. (2005). Novelty detector neurons in the mammalian auditory midbrain. *European Journal of Neuroscience*, 22(11), 2879-2885.
- Pessoa, L. (2005). To what extent are emotional visual stimuli processed without attention and awareness? *Current Opinion in Neurobiology*, 15(2), 188-196.

- Pessoa, L., McKenna, M., Gutierrez, E., & Ungerleider, L. G. (2002). Neural processing of emotional faces requires attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, *99*(17), 11458-11463.
- Petersen, S. E., Robinson, D. L., & Keys, W. (1985). Pulvinar nuclei of the behaving rhesus monkey: visual responses and their modulation. *Journal of Neurophysiology*, *54*(4), 867-886.
- Phan, K. L., Wager, T., Taylor, S. F., & Liberzon, I. (2002). Functional neuroanatomy of emotion: A meta-analysis of emotion activation studies in PET and fMRI. *NeuroImage*, *16*(2), 331-348.
- Phan, K. L., Wager, T. D., Taylor, S. F., & Liberzon, I. (2004). Functional neuroimaging studies of human emotions. *CNS Spectrum*, *9*(4), 258-266.
- Picton, T. W., Bentin, S., Berg, P., Donchin, E., Hillyard, S. A., Johnson, R., Jr., et al. (2000). Guidelines for using human event-related potentials to study cognition: Recording standards and publication criteria. *Psychophysiology*, *37*(2), 127-152.
- Pierrot-Deseilligny, C., Milea, D., & Muri, R. M. (2004). Eye movement control by the cerebral cortex. *Current Opinion in Neurology*, *17*(1), 17-25.
- Pinkham, A. E., Griffin, M., Baron, R., Sasson, N. J., & Gur, R. C. (2010). The face in the crowd effect: anger superiority when using real faces and multiple identities. *Emotion*, *10*(1), 141-146.
- Plutchik, R. (1980). A general psychoevolutionary theory of emotion. In R. Plutchik & H. Kellerman (Eds.), *Emotion: Theory, research and experience* (Vol. 1, pp. 3-31). New York: Academic Press.
- Plutchik, R. (2001). The nature of emotions. *The American Scientist*, *89*, 344-350.
- Polich, J. (2003). Theoretical overview of P3a and P3b. In J. Polich (Ed.), *Detection of change: Event-related potential and fMRI findings* (pp. 83-98). Boston: Kluwer Academic Press.
- Polich, J. (2007). Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, *118*(10), 2128-2148.
- Polich, J., & Margala, C. (1997). P300 and probability: comparison of oddball and single-stimulus paradigms. *International Journal of Psychophysiology*, *25*(2), 169-176.
- Posner, J., Russell, J. A., Gerber, A., Gorman, D., Colibazzi, T., Yu, S., et al. (2009). The neurophysiological bases of emotion: An fMRI study of the affective circumplex using emotion-denoting words. *Human Brain Mapping*, *30*(3), 883-895.
- Potts, G. F. (2004). An ERP index of task relevance evaluation of visual stimuli. *Brain and Cognition*, *56*(1), 5-13.
- Potts, G. F., Patel, S. H., & Azzam, P. N. (2004). Impact of instructed relevance on the visual ERP. *International Journal of Psychophysiology*, *52*(2), 197-202.
- Purcell, D. G., Stewart, A. L., & Skov, R. B. (1996). It takes a confounded face to pop out of a crowd. *Perception*, *25*(9), 1091-1108.
- Ranganath, C., & Rainer, G. (2003). Neural mechanisms for detecting and remembering novel events. *Nature Reviews Neuroscience*, *4*(3), 193-2002.
- Ravden, D., & Polich, J. (1998). Habituation of P300 from visual stimuli. *International Journal of Psychophysiology*, *30*(3), 359-365.
- Ray, R. L., Piroch, J. F., & Kimmel, H. D. (1977). The effects of task and stimulus variability on habituation of electrodermal and vasomotor reactions. *Physiological Psychology*, *5*, 189-196.
- Rayner, K. (2009). Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *62*(8), 1457-1506.
- Reason, J. (1994). *Menschliches Versagen*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Reches, A., & Gutfreund, Y. (2008). Stimulus-specific adaptations in the gaze control system of the barn owl. *Journal of Neuroscience*, *28*(6), 1523-1533.
- Reed, P., Mitchell, C., & Nokes, T. (1996). Intrinsic reinforcing properties of putatively neutral stimuli in an instrumental two-lever discrimination task. *Animal Learning and Behavior*, *24*(1), 38-45.

- Reichle, E. D., Rayner, K., & Pollatsek, A. (2003). The E-Z reader model of eye-movement control in reading: comparisons to other models. *Behavioral Brain Sciences*, 26(4), 445-476; discussion 477-526.
- Reiman, E. M., Lane, R. D., Ahern, G. L., Schwartz, G. E., Davidson, R. J., Friston, K. J., et al. (1997). Neuroanatomical correlates of externally and internally generated human emotion. *American Journal of Psychiatry*, 154(7), 918-925.
- Reingold, E. M., & Stampe, D. M. (1999). Saccadic inhibition in complex visual tasks. In W. Becker, H. Deubel & T. Mergner (Eds.), *Current oculomotor research* (pp. 249-255). New York: Plenum.
- Reingold, E. M., & Stampe, D. M. (2000). Saccadic inhibition and gaze contingent research paradigms. In A. Kennedy, R. Radach, D. Heller & J. Pynte (Eds.), *Reading as a perceptual process* (pp. 1-26). Amsterdam: Elsevier Science Ltd.
- Reingold, E. M., & Stampe, D. M. (2002). Saccadic inhibition in voluntary and reflexive saccades. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(3), 371-388.
- Reingold, E. M., & Stampe, D. M. (2004). Saccadic inhibition in reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 30(1), 194-211.
- Ritter, W., Vaughan, H. G., Jr., & Costa, L. D. (1968). Orienting and habituation to auditory stimuli: A study of short term changes in average evoked responses. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 25(6), 550-556.
- Rolls, E. T. (1999). *The brain and emotion*. Oxford: Oxford Univ. Press.
- Romanski, L. M., Clugnet, M. C., Bordi, F., & LeDoux, J. (1993). Somatosensory and Auditory Convergence in the Lateral Nucleus of the Amygdala. *Behavioral Neuroscience*, 107(3), 444-450.
- Romero, R., & Polich, J. (1996). P3(00) habituation from auditory and visual stimuli. *Physiology and Behavior*, 59(3), 517-522.
- Ross, L. E., & Ross, S. M. (1980). Saccade latency and warning signals: Stimulus onset, offset, and change as warning events. *Perception and Psychophysics*, 27(3), 251-257.
- Ross, S. M., & Ross, L. E. (1981). Saccade latency and warning signals: Effects of auditory and visual stimulus onset and offset. *Perception and Psychophysics*, 29(5), 429-437.
- Rozenkrants, B., & Polich, J. (2008). Affective ERP processing in a visual oddball task: arousal, valence, and gender. *Clinical Neurophysiology*, 119(10), 2260-2265.
- Rushby, J. A., & Barry, R. J. (2007). Event-related potential correlates of phasic and tonic measures of the orienting reflex. *Biological Psychology*, 75(3), 248-259.
- Rushby, J. A., Barry, R. J., & Doherty, R. J. (2005). Separation of the components of the late positive complex in an ERP dishabituation paradigm. *Clinical Neurophysiology*, 116(10), 2363-2380.
- Russel, B. (1980). A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 39, 1161-1178.
- Rust, J. (1977). Habituation and the orienting response in the auditory cortical evoked potential. *Psychophysiology*, 14(2), 123-126.
- Sah, P., Faber, E. S., Lopez De Armentia, M., & Power, J. (2003). The amygdaloid complex: Anatomy and physiology. *Physiological Review*, 83(3), 803-834.
- Sambeth, A., Maes, J. H., Quijan Quiroga, R., Van Rijn, C. M., & Coenen, A. M. (2004). Enhanced re-habituation of the orienting response of the human event-related potential. *Neuroscience Letters*, 356(2), 103-106.
- Sander, D., Grafman, J., & Zalla, T. (2003). The human amygdala: An evolved system for relevance detection. *Reviews in the Neurosciences*, 14(4), 303-316.
- Sanders, A. F., & Houtmans, M. J. M. (1985). There is no central stimulus-encoding during saccadic eye shifts: A case against general parallel processing notions. *Acta Psychologica*, 60(2-3), 323-338.

- Saslow, M. G. (1967). Saccade latency and warning signals: Stimulus onset, offset and change as warning events. *Journal of the Optical Society of America*, 57, 1024-1029.
- Schall, J. D. (2004). On the role of frontal eye field in guiding attention and saccades. *Vision Research*, 44(12), 1453-1467.
- Scherer, K. R. (1993). Neuroscience projections to current debates in emotion psychology. *Cognition and Emotion*, 7, 1-41.
- Schiller, P. H., & Tehovnik, E. J. (2001). Look and see: How the brain moves your eyes about. *Progress in Brain Research*, 134, 127-142.
- Schlag-Rey, M., Schlag, J., & Dassonville, P. (1992). How the frontal eye field can impose a saccade goal on superior colliculus neurons. *Journal of Neurophysiology*, 67(4), 1003-1005.
- Schröger, E., & Wolff, C. (1998). Attentional orienting and reorienting is indicated by human event-related brain potentials. *Neuroreport*, 9(15), 3355-3358.
- Schultz, W. (1998). Predictive reward signal of dopamine neurons. *Journal of Neurophysiology*, 80(1), 1-27.
- Schupp, H. T., Ohman, A., Junghofer, M., Weike, A. I., Stockburger, J., & Hamm, A. O. (2004). The facilitated processing of threatening faces: an ERP analysis. *Emotion*, 4(2), 189-200.
- Shapiro, K. L., Arnell, K. M., & Raymond, J. E. (1997). The attentional blink. *Trends in Cognitive Sciences*, 1(8), 291-296.
- Shaw, K., Lien, M. C., Ruthruff, E., & Allen, A. P. (2011). Electrophysiological evidence of emotion perception without central attention. *Journal of Cognitive Psychology*, in press.
- Siddle, D. A. (1979). The orienting response and stimulus significance: Some comments. *Biological Psychology*, 8(4), 303-309.
- Siddle, D. A., O'Gorman, J. G., & Wood, L. (1979). Effects of electrodermal lability and stimulus significance on electrodermal response amplitude to stimulus change. *Psychophysiology*, 16(6), 520-527.
- Siddle, D. A., Stephenson, D., & Spinks, J. A. (1983). Elicitation and habituation of the orienting response. In D. A. Siddle (Ed.), *Orienting and habituation: Perspectives in human research* (pp. 109-182). New York: John Wiley & Sons Ltd.
- Simson, R., Vaughn, H. G., Jr., & Ritter, W. (1977). The scalp topography of potentials in auditory and visual discrimination tasks. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 42(4), 528-535.
- Skrandies, W., & Laschke, K. (1997). Topography of visually evoked brain activity during eye movements: Lambda waves, saccadic suppression, and discrimination performance. *International Journal of Psychophysiology*, 27(1), 15-27.
- Sokolov, E. N. (1960). Neuronal models and the orienting reflex. In M. A. B. Brazier (Ed.), *The central nervous system and behaviour* (pp. 187-276). Madison: Madison Printing.
- Sokolov, E. N. (1963). *Perception and conditioned reflex*. London: Pergamon Press.
- Sommer, M. A., & Wurtz, R. H. (1998). Frontal eye field neurons orthodromically activated from the superior colliculus. *Journal of Neurophysiology*, 80, 3331-3333.
- Sparks, D. L. (2002). The brainstem control of saccadic eye movements. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(12), 952-964.
- Sparks, D. L., & Barton, E. J. (1993). Neural control of saccadic eye movements. *Current Opinions in Neurobiology*, 3(6), 966-972.
- Sparks, D. L., & Hartwich-Young, R. (1989). The deep layers of the superior colliculus. In R. H. Wurtz & M. E. Goldberg (Eds.), *The neurobiology of saccadic eye movements. Reviews of oculomotor research* (Vol. 3, pp. 213-255). Amsterdam: Elsevier.
- Sprague, J. M. (1991). The role of the superior colliculus in facilitating visual attention and form perception. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 88(4), 1286-1290.

- Squires, K. C., Donchin, E., Herning, R. I., & McCarthy, G. (1977). On the influence of task relevance and stimulus probability on event-related-potential components. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 42(1), 1-14.
- SR Research Ltd. (2008). *EyeLink user manual version 1.4.0* (Computer Software Manual). Mississauga, Ontario, Canada: SR Research Ltd.
- Stampe, D. M. (1993). Heuristic filtering and reliable calibration methods for video-based pupil-tracking systems. *Behavior Research Methods, Instruments and Computers*, 25(2), 137-142.
- Stampe, D. M., & Reingold, E. M. (2002). Influence of stimulus characteristics on the latency of saccadic inhibition. *Progress in Brain Research*, 140, 73-87.
- Stein, B. E., Meredith, M. A., Huneycutt, W. S., & McDade, L. (1989). Behavioral indices of multisensory integration: Orientation to visual cues is affected by auditory stimuli. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1(1), 12-24.
- Stein, B. E., & Stanford, T. R. (2008). Multisensory integration: Current issues from the perspective of the single neuron. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(4), 255-266.
- Stelmack, R. M., & Siddle, D. A. (1982). Pupillary dilation as an index of the orienting reflex. *Psychophysiology*, 19(6), 706-708.
- Stephenson, D., & Siddle, D. A. (1983). Theories of habituation. In D. A. Siddle (Ed.), *Orienting and habituation: Perspectives in human research*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Strobel, A., Lesch, K. P., Jatzke, S., Paetzold, F., & Brocke, B. (2003). Further evidence for a modulation of Novelty Seeking by DRD4 exon III, 5-HTTLPR, and COMT val/met variants. *Molecular Psychiatry*, 8(4), 371-372.
- Sumner, P., Nachev, P., Castor-Perry, S., Isenman, H., & Kennard, C. (2006). Which visual pathways cause fixation-related inhibition? *Journal of Neurophysiology*, 95(3), 1527-1536.
- Susskind, J. M., Lee, D. H., Cusi, A., Feiman, R., Grabski, W., & Anderson, A. K. (2008). Expressing fear enhances sensory acquisition. *Nature Neuroscience*, 11(7), 843-850.
- Tatler, B. W., Baddeley, R. J., & Gilchrist, I. D. (2005). Visual correlates of fixation selection: Effects of scale and time. *Vision Research*, 45(5), 643-659.
- Tatler, B. W., Baddeley, R. J., & Vincent, B. T. (2006). The long and the short of it: Spatial statistics at fixation vary with saccade amplitude and task. *Vision Research*, 46(12), 1857-1862.
- Tatler, B. W., & Vincent, B. T. (2008). Systematic tendencies in scene viewing. *Journal of Eye Movement Research*, 2(2), 5:1-18.
- Taylor, M. J. (2002). Non-spatial attentional effects on P1. *Clinical Neurophysiology*, 113(12), 1903-1908.
- Thompson, R. F., & Spencer, W. A. (1966). Habituation: A model phenomenon for the study of neuronal substrates of behavior. *Psychological Review*, 73(1), 16-43.
- Tipper, C. M., Handy, T. C., Giesbrecht, B., & Kingstone, A. (2008). Brain responses to biological relevance. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(5), 879-891.
- Tizzard, B. (1966). Evoked changes in EEG and electrodermal activity during the waking and sleeping states. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 20(2), 122-128.
- Tomasik, D., Ruthruff, E., Allen, P. A., & Lien, M. C. (2009). Nonautomatic emotion perception in a dual-task situation. *Psychonomic Bulletin and Review*, 16(2), 282-288.
- Torralba, A., Oliva, A., Castelano, M. S., & Henderson, J. M. (2006). Contextual guidance of eye movements and attention in real-world scenes: the role of global features in object search. *Psychological Review*, 113(4), 766-786.
- Toyomitsu, Y., Nishijo, H., Uwano, T., Kuratsu, J., & Ono, T. (2002). Neuronal responses of the rat amygdala during extinction and reassociation learning in elementary and configural associative tasks. *European Journal of Neuroscience*, 15(4), 753-768.
- Tranel, D., Fowles, D. C., & Damasio, A. R. (1985). Electrodermal discrimination of familiar and unfamiliar faces: A methodology. *Psychophysiology*, 22(4), 403-408.

- Treisman, A., & Davis, A. (1973). Dividing attention to ear and eye. In S. Kornblum (Ed.), *Attention and performance IV* (pp. 101-117). New York: Academic Press.
- Trevarthen, C.-B. (1968). Two mechanisms of vision in primates. *Psychologische Forschung*, 31(4), 299-337.
- Turpin, G. (1983). Unconditioned reflexes and the autonomic nervous system. In D. Siddle (Ed.), *Orienting and habituation: Perspectives in human research*. London: Wiley.
- Unema, P. J. A. (1995). *Eye movements and mental effort*. Shaker, TU Berlin.
- Unema, P. J. A., Pannasch, S., Joos, M., & Velichkovsky, B. M. (2005). Time course of information processing during scene perception: The relationship between saccade amplitude and fixation duration. *Visual Cognition*, 12(3), 473-494.
- Ungerleider, L., & Mishkin, M. (1982). Two cortical visual systems. In D. J. Ingle, M. A. Goodale & R. J. W. Mansfield (Eds.), *Analysis of visual behavior* (pp. 549-586). Cambridge, MA: MIT Press.
- Uwano, T., Nishijo, H., Ono, T., & Tamura, R. (1995). Neuronal responsiveness to various sensory stimuli, and associative learning in the rat amygdala. *Neuroscience*, 68(2), 339-361.
- Vallines, I., & Greenlee, M. W. (2006). Saccadic suppression of retinotopically localized blood oxygen level-dependent responses in human primary visual area V1. *Journal of Neuroscience*, 26(22), 5965-5969.
- Van der Stigchel, S., & Theeuwes, J. (2005). Relation between saccade trajectories and spatial distractor locations. *Brain Research: Cognitive Brain Research*, 25(2), 579-582.
- Van Diepen, P. M. J., de Graef, P., & d'Ydewalle, G. (1995). Chronometry of foveal information extraction during scene perception. In J. M. Findlay, R. Walker & R. W. Kentridge (Eds.), *Eye Movement Research: Mechanisms, Processes, and Applications* (pp. 349-362). New York: Elsevier.
- Van Diepen, P. M. J., Wampers, M., & d'Ydewalle, G. (1998). Functional division of the visual field: Moving masks and moving windows. In G. Underwood (Ed.), *Eye guidance in reading and scene perception* (pp. 337-355). Amsterdam: Elsevier.
- Van Duren, L., & Sanders, A. F. (1995). Signal processing during and across saccades. *Acta Psychologica*, 89(2), 121-147.
- Van Voorhis, S., & Hillyard, S. A. (1977). Visual evoked potentials and selective attention to points in space. *Perception & Psychophysics*, 22, 54-62.
- Vassallo, S., Cooper, S. L., & Douglas, J. M. (2009). Visual scanning in the recognition of facial affect: Is there an observer sex difference? *Journal of Vision*, 9(3), 11 11-10.
- Velichkovsky, B. M. (2002). Hierarchy of cognition: The depths and the highs of a framework for memory research. *Memory*, 10(5/6), 405-419.
- Velichkovsky, B. M., Dornhoefer, S. M., Kopf, M., Helmert, J. R., & Joos, M. (2002). Change detection and occlusion modes in static and dynamic road-traffic scenarios. *Transportation Research Part F*, 5(2), 99-109.
- Velichkovsky, B. M., Joos, M., Helmert, J. R., & Pannasch, S. (2005). Two visual systems and their eye movements: Evidence from static and dynamic scene perception. In B. G. Bara, L. Barsalou & M. Bucciarelli (Eds.), *Proceedings of the XXVII Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 2283-2288). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Velichkovsky, B. M., Rothert, A., Kopf, M., Dornhoefer, S. M., & Joos, M. (2002). Towards an express diagnostics for level of processing and hazard perception. *Transportation Research, Part F*, 5(2), 145-156.
- Velichkovsky, B. M., Sprenger, A., & Unema, P. J. A. (1997). Toward gaze-mediated interaction: Collecting solutions of the "Midas touch problem". In S. Howard, J. Hammond & G. Lindgaard (Eds.), *Human-Computer Interaction: INTERACT'97* (pp. 509 - 516). London: Chapman & Hall.



- Verbaten, M. N., Roelofs, J. W., Sjouw, W., & Slangen, J. L. (1986). Habituation of early and late visual ERP components and the orienting reaction: The effect of stimulus information. *International Journal of Psychophysiology*, 3(4), 287-298.
- von Wartburg, R., Ouerhani, N., Plugshaupt, T., Nyffeler, T., Wurtz, P., Hügli, H., et al. (2005). The influence of colour on oculomotor behaviour during image perception. *Neuroreport*, 16(14), 1557-1560.
- Vrana, S. R., Spence, E. L., & Lang, P. J. (1988). The startle probe response: A new measure of emotion? *Journal of Abnormal Psychology*, 97(4), 487-491.
- Vuilleumier, P., Armony, J. L., & Dolan, R. J. (2003). Reciprocal links between emotion and attention. In R. S. Frackowiak (Ed.), *Human brain function* (2 ed., pp. 419-444). San Diego: Academic Press.
- Vuilleumier, P., Armony, J. L., Driver, J., & Dolan, R. J. (2003). Distinct spatial frequency sensitivities for processing faces and emotional expressions. *Nature Neuroscience*, 6(6), 624-631.
- Vuilleumier, P., & Driver, J. (2007). Modulation of visual processing by attention and emotion: windows on causal interactions between human brain regions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 362(1481), 837-855.
- Wade, N., & Tatler, B. W. (2005). *The moving tablet of the eye*. Oxford: Oxford University Press.
- Walker, R., Deubel, H., Schneider, W. X., & Findlay, J. M. (1997). Effect of remote distractors on saccade programming: Evidence for an extended fixation zone. *Journal of Neurophysiology*, 78, 1108-1119.
- Walker, R., Kentridge, R. W., & Findlay, J. M. (1995). Independent contributions of the orienting of attention, fixation offset and bilateral stimulation on human saccadic latencies. *Experimental Brain Research*, 103, 294-310.
- Wallace, M. T., Meredith, M. A., & Stein, B. E. (1998). Multisensory integration in the superior colliculus of the alert cat. *Journal of Neurophysiology*, 80(2), 1006-1010.
- Wallace, M. T., & Stein, B. E. (2001). Sensory and multisensory responses in the newborn monkey superior colliculus. *Journal of Neuroscience*, 21(22), 8886-8894.
- Wallace, M. T., Wilkinson, L. K., & Stein, B. E. (1996). Representation and integration of multiple sensory inputs in primate superior colliculus. *Journal of Neurophysiology*, 76(2), 1246-1266.
- Wastell, D. G., & Kleinman, D. (1980). Fast habituation of the late components of the visual evoked potential in man. *Physiology and Behavior*, 25(1), 93-97.
- Watson, D. G., & Tellegen, A. (1985). Towards a consensual structure of mood. *Psychological Bulletin*, 98(2), 219-235.
- Weber, H., & Fischer, B. (1994). Differential effects of non-target stimuli on the occurrence of express saccades in man. *Vision Research*, 34(14), 1883-1891.
- Wedel, M., Pieters, R., & Liechty, J. (2008). Attention switching during scene perception: how goals influence the time course of eye movements across advertisements. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 14(2), 129-138.
- Weinberg, A., & Hajcak, G. (2010). Beyond good and evil: The time-course of neural activity elicited by specific picture content. *Emotion*, 10(6), 767-782.
- Welford, A. T. (1967). Single-Channel Operation in Brain. *Acta Psychologica*, 27, 5-&.
- West, G. L., Anderson, A. A., Ferber, S., & Pratt, J. (2011). Electrophysiological Evidence for Biased Competition in V1 for Fear Expressions. *Journal of Cognitive Neuroscience*.
- Westenberg, I. S., & Weinberger, N. M. (1976). Evoked potential decrements in auditory cortex. II. Critical test for habituation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 40(4), 356-369.
- Whalen, P. J., Rauch, S. L., Etcoff, N. L., McInerney, S. C., Lee, M. B., & Jenike, M. A. (1998). Masked presentations of emotional facial expressions modulate amygdala activity without explicit knowledge. *Journal of Neuroscience*, 18(1), 411-418.

- White, B. J., Gegenfurtner, K. R., & Kerzel, D. (2005). Effects of structured nontarget stimuli on saccadic latency. *Journal of Neurophysiology*, *93*(6), 3214-3223.
- Wickens, C. D. (1980). The structure of attentional resources. In R. Nickerson (Ed.), *Attention and performance VIII* (pp. 239–257). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Wickens, C. D. (2008). Multiple resources and mental workload. *Human Factors*, *50*(3), 449-455.
- Williams, L. M. (2006). An integrative neuroscience model of "significance" processing. *Journal of Integrative Neuroscience*, *5*(1), 1-47.
- Williams, L. M., Brammer, M. J., Skerrett, D., Lagopolous, J., Rennie, C., Kozek, K., et al. (2000). The neural correlates of orienting: An integration of fMRI and skin conductance orienting. *Neuroreport*, *11*(13), 3011-3015.
- Wilson, F. A. W., & Rolls, E. T. (1993). The effects of stimulus novelty and familiarity on neuronal activity in the amygdala or monkeys perform recognition memory tasks. *Experimental Brain Research*, *93*(3), 367-382.
- Wingard, J. A., & Maltzman, I. (1980). Interest as a Predeterminer of the GSR Index of the Orienting Reflex. *Acta Psychologica*, *46*(2), 153-160.
- Woods, D. L., Courchesne, E., Hillyard, S. A., & Galambos, R. (1980). Recovery cycles of event-related potentials in multiple detection tasks. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *50*(5-6), 335-347.
- Woods, D. L., & Elmasian, R. (1986). The habituation of event-related potentials to speech sounds and tones. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *65*(6), 447-459.
- Wright, C. I., Martis, M., Schwartz, C. E., Shin, L. M., Fischer, H., McMullin, K., et al. (2003). Novelty responses and differential effects of order in the amygdala, substantia innominata, and inferior temporal cortex. *NeuroImage*, *18*(3), 660-669.
- Wundt, W. (1896). *Grundriss der Psychologie*. Leipzig: Engelmann.
- Wyszecki, G., & Stiles, W. S. (1982). *Color science: Concepts and methods, quantitative data and formulae* (2nd ed.). NY: John Wiley and Sons.
- Yagi, A. (1979). Saccade size and lambda complex in man. *Physiological Psychology*, *7*(4), 370-376.
- Yarbus, A. L. (1967). *Eye movements and vision* (L. A. Riggs, Trans.). New York: Plenum Press.
- Yiend, J. (2010). The effects of emotion on attention: A review of attentional processing of emotional information. *Cognition and Emotion*, *24*(1), 3-47.
- Yiend, J., & Mathews, A. (2001). Anxiety and attention to threatening pictures. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, *54*(3), 665-681.
- Zald, D. H. (2003). The human amygdala and the emotional evaluation of sensory stimuli. *Brain Research - Brain Research Review*, *41*(1), 88-123.
- Zhao, Z. W., & Davis, M. (2004). Fear-potentiated startle in rats is mediated by neurons in the deep layers of the superior colliculus/deep mesencephalic nucleus of the rostral midbrain through the glutamate non-NMDA receptors. *Journal of Neuroscience*, *24*(46), 10326-10334.
- Zimmer, H. (2006). Habituation of the orienting response as reflected by the skin conductance response and by endogenous event-related brain potentials. *International Journal of Psychophysiology*, *60*(1), 44-58.