
Psychophysische und psychophysiologische
Untersuchungen zur Wirkung von Distraktoren
im Paradigma der
experimentell induzierten Bewegungsblindheit
(Attention-induced motion blindness)

In a u g u r a l – D i s s e r t a t i o n
zur
Erlangung des Doktorgrades der
Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von
Guido Hesselmann
aus Emmerich

Düsseldorf 2004

Zusammenfassung

Als experimentell induzierte Blindheiten lassen sich kurzzeitige Zustände zusammenfassen, in denen es aufgrund einer experimentellen Manipulation bei normalsichtigen Probanden zu einer verminderten Entdeckung bzw. Identifikation von überschwelligen, visuellen Reizen kommt. Sahraie, Milders und Niedeggen (2001) beschreiben ein neues Paradigma, in welchem die bewusste Wahrnehmung von Bewegungsreizen unterbunden wird. Es werden eine lokale (Farbwechsel des Fixationspunkts) und eine globale Reizsequenz (Zufallspunkt-Kinematogramm) gleichzeitig dargeboten. Nach einem Hinweisreiz in der lokalen Sequenz (Farbe Rot) sollen die Probanden einen Zielreiz in der globalen Sequenz (kohärente Bewegung) entdecken. Wenn der Zielreiz in einem kurzen zeitlichen Abstand auf den Hinweisreiz folgt, zeigt sich eine deutlich verringerte Entdeckungsleistung für die kohärente Bewegung. Eine Voraussetzung für den Effekt scheinen Distraktoren zu sein, d.h. kohärente Bewegungen in der globalen Sequenz, die vor dem Hinweisreiz dargeboten werden und von den Probanden nicht beachtet werden sollen. In vier Experimenten untersucht diese Arbeit die Wirkung und die Wirkungsweise von Distraktoren im Motion Blindness Paradigma.

Im ersten psychophysischen Experiment (N=11) wird nachgewiesen, dass Distraktoren nicht zu einer fehlerhaften zeitlichen Zuordnung von Farbe und Bewegung führen, die unter dem Begriff der „perzeptuellen Asynchronität“ in der Literatur bekannt ist. Die Bewegungsblindheit geht somit nicht auf eine Asynchronität von Farbe und Bewegung zurück. Die Ergebnisse des zweiten psychophysischen Experiments (N=16) zeigen, dass die Anzahl und zeitliche Position der Distraktoren einen wesentlichen Einfluss auf das Ausmaß der Bewegungsblindheit haben. Das erste psychophysiologische Experiment (N=10) beschäftigt sich zunächst explorativ mit der Frage, welche Prozesse der Verarbeitung sich im EKP (ereigniskorrelierten Potential) der Distraktoren widerspiegeln. Im Distraktor-EKP werden eine bewegungsevozierte, posteriore Negativierung (N200) sowie eine Überlagerung von frontaler (P3a) und parietaler Positivierung (P300) nachgewiesen. Weiterhin zeigt sich mit steigender Anzahl zuvor dargebotener Distraktoren eine Negativierung mit frontaler Topographie („Nf“) im Distraktor-EKP. In einem zweiten psychophysiologischen Experiment (N=14) wird überprüft, ob die „Nf“ möglicherweise eine zunehmende Inhibition der Distraktoren auf einer post-sensorischen Stufe der Verarbeitung abbildet. Es werden zusätzlich zum Standardparadigma zwei Kontrollbedingungen untersucht, in denen eine Inhibition der Distraktoren nicht notwendig ist. Eine Zunahme der „Nf“ mit steigender Distraktoranzahl findet sich nur für die Standardbedingung, was auf einen Zusammenhang zwischen der „Nf“ und der Inhibition von Distraktorreizen hinweist. Die Ergebnisse zur N200, P3a und P300 sind vereinbar mit der Annahme einer post-sensorischen Inhibition bzw. Selektionsprozessen. Die vorliegenden Befunde werden abschließend im Hinblick auf andere Paradigmen der visuellen Aufmerksamkeit diskutiert.

Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeine Einleitung.....	5
1.1 Experimentell induzierte Blindheit.....	5
1.2 Experimentell induzierte Blindheit für Bewegung (Motion Blindness).....	9
1.3 Die kortikale Verarbeitung kohärenter Bewegung.....	12
1.4 Selektive Aufmerksamkeit und die Verarbeitung kohärenter Bewegung.....	15
1.5 Distraktoren in Paradigmen der selektiven Aufmerksamkeit.....	16
1.6 Fragestellungen der vorliegenden Arbeit.....	20
2. Allgemeine Methode.....	21
2.1 Ort und Zeit der Untersuchungen.....	21
2.2 Versuchsapparatur.....	21
2.3 Das Motion Blindness Paradigma.....	21
2.4 Das Motion Blindness Paradigma in bereits veröffentlichten Studien.....	25
2.5 Versuchspläne.....	26
2.6 Versuchsdurchführung.....	26
2.7 Psychophysiologie (ereigniskorrelierte Potentiale).....	27
2.8 Statistische Auswertung der Daten.....	28
3. Experiment 1.....	29
3.1 Einleitung.....	29
3.2 Methode.....	32
3.3 Ergebnisse.....	34
3.4 Diskussion.....	36
3.5 Zusammenfassung.....	37
4. Experiment 2.....	38
4.1 Einleitung.....	38
4.2 Methode.....	41
4.3 Ergebnisse.....	43
4.4 Diskussion.....	45
4.5 Zusammenfassung.....	50

5. Experiment 3	51
5.1 Einleitung	51
5.2 Methode	54
5.3 Ergebnisse.....	61
5.4 Diskussion	69
5.5 Zusammenfassung	77
6. Experiment 4	78
6.1 Einleitung	78
6.2 Methode	81
6.3 Ergebnisse.....	86
6.4 Diskussion	97
6.5 Zusammenfassung	108
7. Allgemeine Diskussion.....	110
7.1 Überblick und Interpretation der Ergebnisse.....	110
7.2 Robustheit des Motion Blindness Effekts	111
7.3 Abgrenzung und Einordnung des Motion Blindness Paradigmas	113
7.4 Wirkungsweise von Distraktoren im Motion Blindness Paradigma	118
7.5 Implizite Verarbeitung der Bewegungsrichtung.....	121
7.6 Ausblick.....	123
8. Literaturverzeichnis.....	124

1 Allgemeine Einleitung

In jedem Augenblick wird das menschliche Sehsystem mit einer unüberschaubaren Fülle an visueller Information konfrontiert. Dass bei der Entstehung des subjektiven Sehbildes teils rigorose Mechanismen der Selektion beteiligt sind, die unter dem Begriff der selektiven Aufmerksamkeit zusammengefasst werden können, ist hingegen weniger offensichtlich. Mit Hilfe von experimentellen Situationen bzw. Paradigmen, in denen die Darbietung von Reizen und die Aufgabenstellung von Probanden kontrolliert und manipuliert werden, lassen sich die Effekte der Selektionsmechanismen nachweisen. Die Selektion führt dabei einerseits zu einer effizienteren Verarbeitung der beachteten Reize. Die Verarbeitung unbeachteter Reize wird hingegen herabgesetzt, was sich am deutlichsten an einer verminderten Detektions- oder Identifikationsleistung für überschwellige Reize und Reizveränderungen erkennen lässt. Ein solcher kurzzeitiger Zustand, in dem die unbeachtete Information aufgrund einer experimentellen Manipulation gewissermaßen ausgeblendet wird, soll im folgenden als experimentell induzierte Blindheit bezeichnet werden. Sahraie, Milders und Niedeggen (2001) konnten erstmals eine experimentell induzierte Blindheit für Bewegungsreize nachweisen. Diese Studie stellt den Ausgangspunkt der vorliegenden Arbeit dar. Bevor jedoch auf den Effekt der Bewegungsblindheit detailliert eingegangen wird, soll der nächste Abschnitt einen kurzen Überblick über einige Paradigmen der experimentellen Blindheit geben.

1.1 Experimentell induzierte Blindheit

Unter den Begriff der experimentell induzierten Blindheit fallen in der vorliegenden Arbeit keine Paradigmen, in denen das begrenzte physikalische Auflösungsvermögen des visuellen Systems im Vordergrund steht. Folglich ist die Methode der subliminalen Darbietung, bei der die visuellen Reize nur sehr kurzzeitig – im Bereich von Millisekunden – präsentiert werden, auszuschließen (Kunst-Wilson & Zajonc, 1980; Übersicht über frühe Arbeiten bei McConnell, Cutler & McNeil, 1958). Bei der visuellen Maskierung werden die Reize zwar länger dargeboten, jedoch in so großer zeitlicher und räumlicher Nähe zu anderen visuellen Reizen, dass die Sichtbarkeit drastisch eingeschränkt wird (Breitmeyer, 1984). Für beide Verfahren trifft die Beobachtung zu, dass eine veränderte Aufgabenstellung keinen Effekt auf die Verhaltensleistung zeigt. Ein solcher Effekt ist jedoch ein wesentliches Kennzeichen der folgenden Methoden, bei denen eine Überlastung der visuellen Aufmerksamkeitskapazität bzw. das begrenzte attentive Auflösungsvermögen im Vordergrund steht.

Ein Verfahren, um eine Überlastung der visuellen Aufmerksamkeitskapazität herbeizuführen, besteht in der Darbietung einer schnellen Reizsequenz (engl.: rapid serial visual presentation, RSVP; Broadbent & Broadbent, 1987). Bei der Einbettung von mehreren Zielreizen in einer hochfrequenten Abfolge rivalisierender Information (ca. 10 Hz) stößt das zeitliche Auflösungsvermögen von Selektionsprozessen der visuellen Aufmerksamkeit an seine Grenzen (siehe Duncan, Ward & Shapiro, 1996). Das am ausführlichsten untersuchte Beispiel für den Effekt der zeitlichen „Trägheit“ der visuellen Aufmerksamkeit stellt der *Attentional Blink* dar (Raymond, Shapiro & Arnell, 1992; Übersicht bei Shapiro, Arnell & Raymond, 1997). Abbildung 1.1 verdeutlicht das Paradigma und zeigt die typischen Ergebnisse für den Attentional Blink.

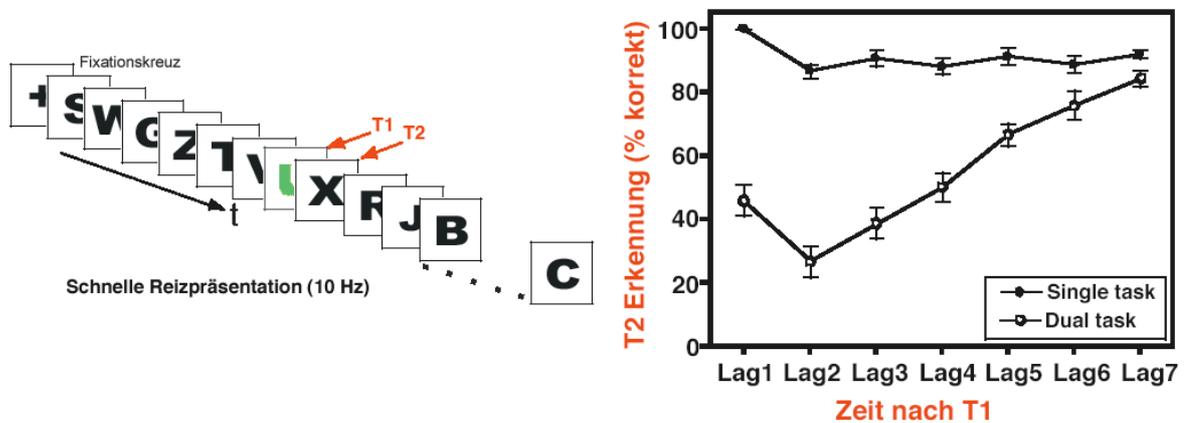


Abbildung 1.1 Attentional Blink. Zwei Zielreize (T1: grüner Vokal, T2: X) werden in einer schnellen Abfolge von Buchstaben präsentiert. Die Detektionsleistung für T2 hängt ab von dem Zeitintervall zwischen T1 und T2 (dual task). Soll nur T2 entdeckt werden, zeigt sich diese Abhängigkeit vom Lag nicht (single task). Lag1 bezieht sich dabei auf ein Zeitintervall von 100 ms (nach Krancioch, Debener & Engel, 2003).

Im Paradigma des Attentional Blink werden zwei Zielreize innerhalb einer RSVP-Sequenz, z.B. einer Abfolge von Buchstaben, dargeboten. In der Studie von Krancioch, Debener und Engel (2003) – siehe Abbildung 1.1 – handelte es sich bei dem ersten Zielreiz (T1) um einen grünen Buchstaben. Den zweiten Zielreiz (T2) stellte der Buchstabe X dar. Wie in Abbildung 1.1 zu erkennen ist, hängt die Detektion von T2 entscheidend von zwei Faktoren ab, zum einen von der Aufgabenstellung und zum anderen von dem Zeitintervall zwischen T1 und T2. In der Aufgabe *single task* sollten die Probanden angeben, ob sie ein X (T2) in der Sequenz entdecken. Hier ergibt sich eine nahezu fehlerlose Detektionsleistung. In der Aufgabe *dual task* sollten beide Zielreize entdeckt werden. Hier zeigt sich eine deutliche Abhängigkeit der Detektionsleistung für T2 vom Zeitintervall (Lag) zwischen der Darbietung von T1 und T2. An frühen Lags bis ca. 300 ms nach T1 befindet sich die Detektionsleistung auf einem niedrigen Niveau (<50%). Eine verminderte Leistung ergibt sich bis ca. 600 ms nach der

Darbietung von T2. Gemeinsam ist den unterschiedlichen Modellen zur Erklärung des Attentional Blink die Annahme einer Interferenz zwischen den dargebotenen Zielreizen und Distraktorreizen – auf der Stufe der Repräsentation oder des Abrufs – aufgrund der geringen zeitlichen Auflösung der Selektionsprozesse (Chun & Potter, 1995; Shapiro & Raymond, 1994).

Beim Phänomen der *Change Blindness* handelt es sich um eine experimentell induzierte Blindheit für Reizveränderungen (McConkie & Zola, 1979; Übersicht bei Simons & Levin, 1997). Es werden der originale Reiz und eine veränderte Version des Reizes in zyklischer Abfolge dargeboten (original – verändert – original – verändert – usw.). Zwischen zwei aufeinanderfolgenden Reizen wird ein kurzer Störreiz eingefügt, etwa ein grauer Bildschirm. Möglich ist es auch, die Änderung des Reizes kontingent zum Blinzeln der Probanden oder sakkadischen Augenbewegungen durchzuführen. Die Aufgabe der Probanden besteht darin, die Veränderung möglichst schnell zu entdecken. In Abbildung 1.2 ist ein typischer Aufbau für ein Change Blindness Experiment dargestellt.



Abbildung 1.2 Change Blindness Paradigma. Ein Originalbild (A) und eine veränderte Version (A', niedrigere Mauer im Hintergrund) werden in zyklischer Abfolge dargeboten (A – A' – A – A' usw.). Ein grauer Bildschirm zwischen den Bildern dient als Störreiz. Die Probanden sollen die Veränderung entdecken (nach Rensink, 2001).

Obwohl die Reize im Change Blindness Paradigma für ca. 200 – 600 ms dargeboten werden, während der Störreiz zumeist kürzer präsentiert wird, und die Reizveränderungen oftmals verhältnismäßig großflächige Veränderungen darstellen, benötigen die Probanden eine Vielzahl von Darbietungszyklen, bis sie die Veränderungen entdecken. Für das in Abbildung 1.2 dargestellte Beispiel gibt Rensink (2001) eine mittlere Anzahl von 20 Zyklen an, die zur Entdeckung benötigt wurden. Bei einem entsprechenden Hinweis auf die Veränderung oder einer erneuten Darbietung der Reize nach der erfolgten Detektion wird die Veränderung

sofort erkannt. Als entscheidende Voraussetzung für die Detektion der Veränderung wird die Ausrichtung der visuellen Aufmerksamkeit auf das kritische Element bzw. den Bereich der Veränderung diskutiert (Simons, 2000b). Offensichtlich gibt es einen engen Zusammenhang zwischen den Selektionsprozessen der visuellen Aufmerksamkeit und einer bewussten Abbildung der Reizänderung. Zu derselben Schlussfolgerung gelangt man aufgrund der Befunde zur *Inattentional Blindness*, welches als ein der Change Blindness verwandtes Phänomen bezeichnet werden kann (Mack & Rock, 1998; Neisser & Becklen, 1975). Hier wird auf dem Bildschirm zu einem unerwarteten Zeitpunkt ein deutlich überschwelliger Reiz eingeblendet, während die Probanden mit einer visuellen Aufgabe beschäftigt sind. Dabei kann es sich bei der Position des eingeblendeten Reizes durchaus um den Bereich der momentanen Fixation handeln. Wichtig ist, dass die Probanden die Position nicht beachten, da sie mit der für das Experiment zentralen Aufgabe (z.B. einer perzeptuellen Diskrimination) beschäftigt sind. Nach dem Durchgang werden die Probanden nach diesem Reiz befragt und können ihn – in Abhängigkeit von der bearbeiteten Aufgabe – nicht angeben (Übersicht bei Mack, 2003; siehe auch Simons, 2000a). Angesichts des experimentell beobachteten Zusammenhangs wird eine Gleichsetzung der Begriffe der visuellen selektiven Aufmerksamkeit und des visuellen Bewusstseins (*visual awareness*) kritisch diskutiert (siehe Lamme, 2003).

Ein neueres Beispiel für die möglichen Konsequenzen der Selektionsprozesse der visuellen Aufmerksamkeit stellt das Paradigma der bewegungsinduzierten Blindheit bzw. *Motion-Induced Blindness* von Bonneh, Cooperman und Sagi (2001) dar. Auf der Grundlage von frühen Experimenten von Grindley und Townsend (1965) werden drei deutlich sichtbare Kreise vor einer bewegten Punktwolke auf dem Bildschirm dargeboten (siehe Abbildung 1.3). Die Probanden sollen den Mittelpunkt des Bildschirms beständig, aber nicht exakt fixieren und dabei die Kreise beobachten. Geringe Augenbewegungen sind während eines Durchgangs erlaubt. Bei der Betrachtung des Stimulus kommt es bei den meisten Probanden wiederholt zu spontanen Phasen von mehreren Sekunden Dauer, in denen einer oder mehrere der dargebotenen Kreise nicht mehr gesehen werden. Abbildung 1.3 ist zu entnehmen, dass es während eines einminütigen Durchgangs in ca. 40% der Zeit zum Verschwinden mindestens eines Kreises kommen kann. Der Effekt ist dabei wesentlich abhängig von der Bewegung der umgebenden Punktwolke. Die wirkungsvollste Bewegung stellt eine kugelförmige oder sphärische Bewegung der Punktwolke dar, während es beim Stillstand der Punkte nicht zur experimentellen Blindheit kommt. Der Effekt ergibt sich ebenfalls nicht bei der direkten Fixation der Kreise.

Adaptationsprozesse scheinen nicht die Grundlage des Motion-Induced Blindness Effekts zu sein, da sich ein Verschwinden auch für bewegte Zielreize ergibt. Bonneh et al. (2001) diskutieren die bewegungsinduzierte Blindheit im Hinblick auf objektbasierte Selektionsprozesse der visuellen Aufmerksamkeit (Behrmann, Zemel & Mozer, 1998; Driver & Baylis, 1989).

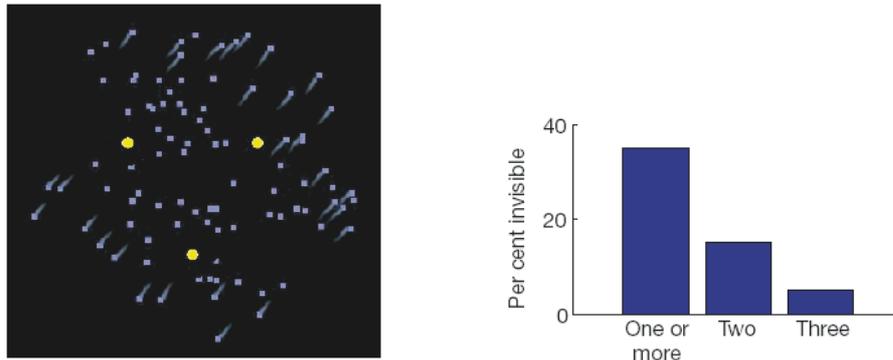


Abbildung 1.3 Motion-Induced Blindness Paradigma. Drei gut sichtbare Kreise werden vor einer bewegten Punktwolke dargeboten. Bei beständiger Fixation der Mitte des Bildes verschwinden ein Kreis oder mehrere Kreise spontan für die Dauer von Sekunden. Das Balkendiagramm gibt an, wie häufig es während eines einminütigen Durchgangs zur bewegungsinduzierten Blindheit kam (aus Bonneh, Coopermann & Sagi 2001).

1.2 Experimentell induzierte Blindheit für Bewegung (Attention-Induced Motion Blindness)

Sahraie et al. (2001) konnten mit Hilfe der beschriebenen RSVP-Methode einen Effekt der selektiven Aufmerksamkeit auf die Detektion von Bewegungsreizen nachweisen. Im Paradigma der experimentell induzierten Bewegungsblindheit (welches im folgenden auch als Motion Blindness Paradigma bezeichnet wird) werden gleichzeitig zwei räumlich getrennte, schnelle Reizabfolgen (RSVP-Sequenzen) dargeboten. Die lokale Sequenz besteht dabei aus einem Farbwechsel des Fixationspunkts in der Mitte des Bildschirms. Die globale Sequenz wird mit Hilfe eines den Fixationspunkt umgebenden Zufallspunkt-Kinematogramms definiert, in dem sich ein unkorreliertes Rauschen der Punkte mit kurzen Phasen kohärenter Bewegung abwechselt (für eine detaillierte Beschreibung siehe den allgemeinen Methodenteil der vorliegenden Arbeit). Nach einem Hinweisreiz in der Farbsequenz (roter Fixationspunkt) sollen die Probanden einen Zielreiz in der Bewegungssequenz (kohärente Bewegung) entdecken. Kohärente Bewegungen, die in der globalen Sequenz zeitlich vor dem Hinweisreiz dargeboten werden, sollen von den Probanden nicht beachtet werden (Distraktoren). Sahraie et al. (2001) konnten zeigen, dass sich bei einem kurzen Zeitintervall zwischen dem

Hinweisreiz und dem Zielreiz eine deutlich verringerte Detektionsleistung für den Zielreiz, also die kohärente Bewegung, ergibt. Gleichfalls zeigt sich die Richtungsdiskrimination für die Zielbewegung verringert. In Abbildung 1.4 sind die wesentlichen Ergebnisse der Studie von Sahraie et al. (2001) dargestellt.

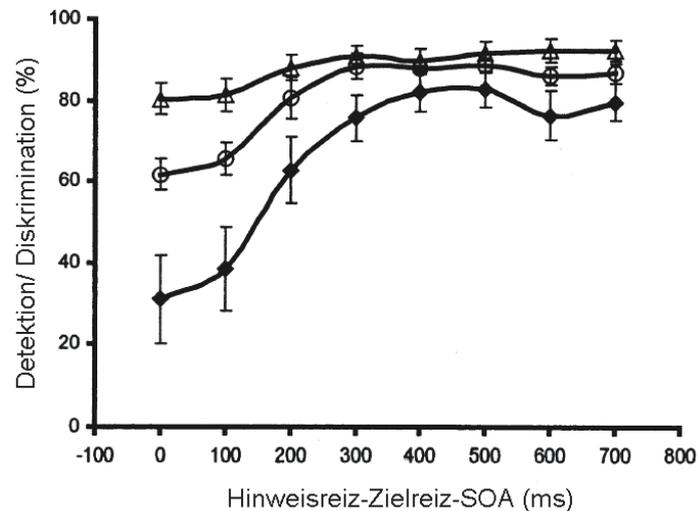


Abbildung 1.4 Attention-Induced Motion Blindness. Dargestellt sind die Ergebnisse für die Detektion (Rauten) und Richtungsdiskrimination (Kreise) einer kohärenten Bewegung (Zielreiz) in Abhängigkeit vom Zeitintervall zwischen Hinweisreiz und Zielreiz. Sollen die Probanden nur die letzte kohärente Bewegung der RSVP-Sequenz angeben, zeigt sich eine Deckenleistung für die Diskrimination (Dreiecke) und die Detektion (nicht dargestellt) [nach Sahraie, Milders & Niedeggen, 2001].

Abbildung 1.4 ist zu entnehmen, dass sich der Motion Blindness Effekt* am ausgeprägtesten bei der simultanen Darbietung von Hinweisreiz und Zielreiz zeigt. Mit einem längeren Zeitintervall zwischen den Reizen nimmt der Effekt über ca. 300 ms ab. Bei einem Zeitintervall von 400 ms ist der Effekt nicht mehr nachweisbar. Adaptations- oder Maskierungseffekte können als Grundlage für die verringerte Detektionsleistung der kohärenten Bewegung ausgeschlossen werden, da sich eine Deckenleistung ergibt für den Fall, dass die Probanden die jeweils letzte kohärente Bewegung der globalen RSVP-Sequenz angeben sollen, ohne auf einen Hinweisreiz in der lokalen Sequenz zu achten (Sahraie et al. 2001; Experiment 2). In zwei weiteren Kontrollexperimenten (Experimente 3 und 4) konnten Sahraie et al. (2001) belegen, dass der Motion Blindness Effekt nicht auf die schnelle Reizabfolge in der lokalen Sequenz oder gar ein Übersehen des Hinweisreizes zurückgeht. So konnten die Probanden nahezu fehlerlos angeben, wenn kein Hinweisreiz in der lokalen Sequenz präsentiert wurde. Die genannten Befunde sprechen insgesamt gegen einen

* Da es sich im beschriebenen Paradigma beim Zielreiz um eine kohärente Bewegung handelt, die sich vom Rauschen des Zufallspunkt-Kinematogramms durch einen globalen Richtungseindruck unterscheidet, stellt der Ausdruck *Motion Coherence Blindness* eine präzisere Bezeichnung des Effekts dar.

bedeutsamen Einfluss von Wechselkosten der visuellen Aufmerksamkeit (Wechsel von lokaler zu globaler Sequenz) auf den Motion Blindness Effekt (Übersicht bei Pashler & Johnston, 1998).

Die Effekte von selektiver Aufmerksamkeit auf die Wahrnehmung von Bewegungsreizen wurden bereits in anderen Studien nachgewiesen (Übersicht bei Raymond, 2000). In einer Reihe von Arbeiten wurde der Bewegungsnacheffekt (engl.: motion aftereffect, MAE; Übersicht bei Anstis, Verstraten & Mather, 1998) untersucht, der sich allgemein nach anhaltender Betrachtung einer gerichteten Bewegung bei anschließender Betrachtung eines stationären Reizes als Scheinbewegung in die entgegengesetzte Richtung ergibt. In dem Fall, dass die visuelle Aufmerksamkeit nicht auf den Bewegungsreiz, sondern etwa auf eine zentral dargebotene Aufgabe gerichtet ist, findet sich in verschiedenen Untersuchungen ein Einfluss der selektiven Aufmerksamkeit auf die Dauer, Stärke oder Richtung des Bewegungsnacheffekts (Chaudhuri, 1990; Rees, Frith & Lavie, 1997). So konnten Rees et al. (1997) zeigen, dass sich bei einer schwierigen linguistischen Aufgabe im Vergleich zu einer einfachen Aufgabe* - operationalisiert durch die Angabe der Silbenzahl eines dargebotenen Wortes bzw. die Entscheidung, ob Groß- oder Kleinbuchstaben vorliegen - ein verringerter MAE auf ein kohärentes Zufallspunkt-Kinematogramm ergibt.

In der Arbeitsgruppe von Valdes-Sosa wurde ein Paradigma entwickelt, in dem zwei übereinander positionierte Kinematogramme dargeboten werden. Auf diese Weise kann der Eindruck zweier transparenter Flächen entstehen, wenn sich die Bewegungsrichtungen der beiden Kinematogramme unterscheiden. Bei Valdes-Sosa unterscheiden sich die RDK-Muster zusätzlich in der Farbe der Punkte. Wird nun in beiden Kinematogrammen in kurzer zeitlicher Abfolge je eine kohärente Zielbewegung dargeboten, so ergibt sich für die zweite Bewegung eine verminderte Richtungsdiskriminations- bzw. Detektionsleistung (Pinilla, Cobo, Torres & Valdes-Sosa, 2001; Valdes-Sosa, Cobo & Pinilla, 2000). Die Autoren gehen davon aus, dass der berichtete Effekt, der über einen Zeitraum bis ca. 500 ms wirksam ist, die zeitliche Trägheit von Selektionsprozessen der objekt-basierten Aufmerksamkeit widerspiegelt.

Die Besonderheit der experimentell induzierten Bewegungsblindheit nach Sahraie et al. (2001) besteht darin, dass der Effekt offenbar auf die Darbietung von Distraktoren

* Problematisch erscheint die *a priori* Definition von schwierigen (*high cognitive load*) und einfachen (*low cognitive load*) Aufgaben in dieser Art von Studien insbesondere dann, wenn die Ergebnisse keinen Unterschied zwischen den Aufgabentypen zeigen.

angewiesen ist. Als Distraktoren gelten Bewegungen der globalen RSVP-Sequenz, die vor dem lokalen Hinweisreiz dargeboten werden und entsprechend der Instruktion von den Probanden nicht beachtet werden sollen. Ohne Distraktoren ergibt sich im Motion Blindness Paradigma keine verringerte Detektionsleistung für die Zielbewegung (Sahraie et al., 2001; Experiment 4). Anhand ihrer Befunde formulierten Sahraie et al. (2001) ein Erklärungsmodell des Motion Blindness Effekts, welches annimmt, dass mit der Darbietung von Distraktoren ein inhibitorischer Selektionsprozess initiiert wird, dessen Lösung nach der Darbietung des Hinweisreizes eine zeitliche Verzögerung aufweist. Dieser inhibitorische Prozess führt dazu, dass in einem Zeitbereich bis ca. 400 ms nach der Darbietung des Hinweisreizes die kohärente Zielbewegung von den Probanden seltener detektiert wird.

Die Überprüfung des Erklärungsmodells von Sahraie et al. (2001) im Sinne einer Untersuchung der Wirkung und Wirkungsweise von Distraktoren im Motion Blindness Paradigma wird der Gegenstand der vorliegenden Experimente sein. Vor einer genauen Formulierung der Fragestellungen erscheint ein kurzer Überblick über die zentralen Elemente des Motion Blindness Paradigmas sinnvoll. Zum einen soll beschrieben werden, welche kortikalen Areale an der Verarbeitung kohärenter Bewegung beteiligt sind (Abschnitt 1.3). Zum anderen soll herausgearbeitet werden, inwieweit selektive Aufmerksamkeit die kortikale Verarbeitung kohärenter Bewegung beeinflusst (Abschnitt 1.4). Anschließend wird der Einfluss von Distraktoren auf das Verhalten in anderen Paradigmen der selektiven Aufmerksamkeit thematisiert (Abschnitt 1.5).

1.3 Die kortikale Verarbeitung kohärenter Bewegung

In einem Zufallspunkt-Kinematogramm (engl.: random dot kinematogram, RDK) lassen sich bewegte Reizmuster erzeugen, die keine Kontur- und Forminformation enthalten (Newsome & Paré, 1988; Williams & Sekuler, 1984). Bei dem RDK-Typ von Newsome & Paré (1988) werden auf dem Bildschirm eine Anzahl von Punkten dargeboten, denen unterschiedliche Bewegungsvektoren zugewiesen werden können (für eine detaillierte Beschreibung von RDK-Parametern siehe den allgemeinen Methodenteil). Besitzt jeder Punkt einen anderen Bewegungsvektor, so ergibt sich das Perzept eines richtungslosen Rauschens des RDK. Je mehr Punkte denselben Bewegungsvektor aufweisen, desto deutlicher ergibt sich der Eindruck einer Ganzfeldbewegung mit der entsprechenden Richtung des Vektors (siehe Abbildung 1.5). Den prozentualen Anteil der Punkte mit einem gemeinsamen

Bewegungsvektor bezeichnet man in der Regel als Kohärenz oder Korreliertheit. Die Entdeckungsschwellen für eine kohärente Bewegung in einem Zufallspunkt-Kinematogramm liegen allgemein zwischen 5% und 25% Kohärenz und sind abhängig von einer Reihe von Stimulusparametern, z.B. der Reizdauer, der Punktdichte und Punktgeschwindigkeit des Kinematogramms (siehe Raymond, 1993; Scase, Braddick & Raymond, 1996).

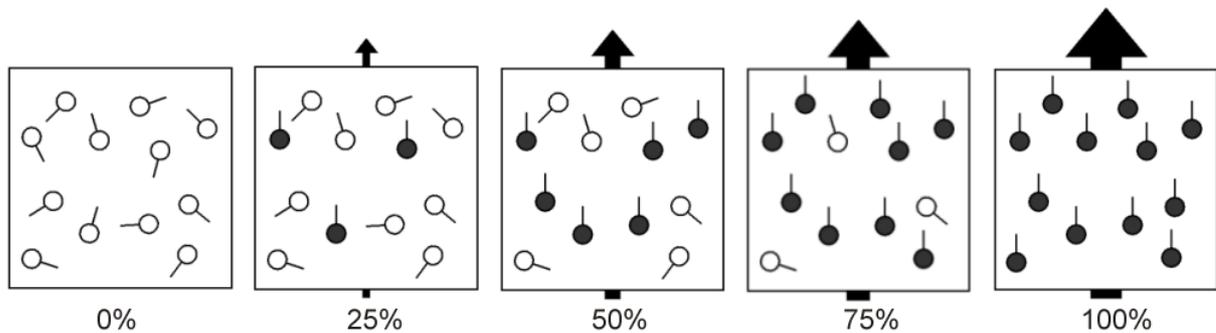


Abbildung 1.5 Beispiele für Zufallspunkt-Kinematogramme mit unterschiedlicher Kohärenz (%). Je mehr Punkte einen gemeinsamen Bewegungsvektor aufweisen, desto stärker ist der Bewegungsrichtungseindruck (dargestellt durch schwarze Pfeile). Bei einer Kohärenz von 0% liegt ein Rauschen des Kinematogramms vor.

Abbildung 1.5 liefert zugleich Anhaltspunkte für eine grundlegende Leistung des visuellen Systems bei der Verarbeitung kohärenter Bewegung in Zufallspunkt-Kinematogrammen. Der globale Bewegungsrichtungseindruck ist bei einer Kohärenz von 50% bereits stark ausgeprägt. Dabei ist der lokale Informationsgehalt auf der Ebene einzelner Punkte widersprüchlich, da 50% der Punkte unterschiedliche Bewegungsvektoren aufweisen. Der vom visuellen System zu leistende Verarbeitungsschritt von der lokalen Richtungsinformation zu einer globalen, einheitlichen Abbildung dieser Information lässt sich als Bewegungsintegration beschreiben (siehe Snowden & Verstraten, 1999; Zohary, Scase & Braddick, 1996).

Der primäre visuelle Cortex (Areal V1) scheint aufgrund seiner richtungsselektiven Neuronen der wichtigste Ursprungsort der lokalen Bewegungsinformation zu sein (Snowden, 1994). Zahlreiche Untersuchungen auf der Ebene von Einzelzellen im Cortex des Primaten belegen, dass das Areal MT (mediales temporales Areal) bei der Integration der lokalen Bewegungssignale zu einem globalen Perzept die entscheidende Rolle spielt. Zum einen wurde gezeigt, dass es einen engen Zusammenhang zwischen der Aktivität in MT und der psychophysischen Leistung der Versuchstiere gibt, wobei die Leistung zumeist als Schwelle der Richtungsdiskrimination in einem RDK gemessen wird (Britten, Shadlen, Newsome &

Movshon, 1992; Newsome, Movshon & Britten, 1988). Zum anderen wurde nachgewiesen, dass sich die Richtungsdiskrimination gezielt durch eine Mikrostimulation von Areal MT beeinflussen lässt (Nichols & Newsome, 2002; Salzman, Britten & Newsome, 1990). Jüngere Studien belegen für das Areal LIP (laterales intraparietales Areal), welches in der Hierarchie der visuellen kortikalen Areale dem Areal MT übergeordnet ist (Felleman & van Essen, 1991), einen noch engeren Zusammenhang zwischen der Einzelzellaktivität und dem Bewegungssperzept als für Areal MT (Shadlen & Newsome, 2001; Williams, Elfar, Eskandar, Toth & Assad, 2003). Nach Treue (2003) spiegelt u.a. dieses Ergebnis einen allgemeinen Trend der kortikalen Verarbeitung wider, nach dem von einem sensorischen Abbild ausgehend immer mehr eine interne Repräsentation der Umweltreize zu finden ist*.

Braddick et al. (2001) untersuchten mit Hilfe der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT), welche Areale im menschlichen Cortex durch kohärente Bewegungen in einem Zufallspunkt-Kinematogramm aktiviert werden. Der berechnete Kontrast (100% Kohärenz > 0% Kohärenz) belegt eine signifikant erhöhte Aktivität insbesondere in den Arealen MT/V5 und V3A sowie in einer Reihe von kleineren kortikalen Bereichen zwischen den beiden Arealen. Die fMRT Studie von Rees, Friston und Koch (2000) geht einen Schritt weiter und versucht eine Brücke zu schlagen zwischen den zahlreichen Ergebnissen aus Einzelzell-Untersuchungen am nichtmenschlichen Primaten und bewegungsinduzierten Veränderungen der kortikalen Hämodynamik bei Versuchspersonen. Zwar variierte die Aktivität einiger extrastriärer Areale mit einem Anstieg der Kohärenz in einem dargebotenen RDK-Muster, doch finden Rees et al. (2000) allein für Areal MT/V5 einen linearen Anstieg des gemessenen Signals mit zunehmender Kohärenz des Kinematogramms, vergleichbar dem linearen Anstieg der Feuerrate auf Einzelzellniveau (siehe z.B. Britten, Shadlen, Newsome & Movshon, 1993).

Ein monotoner Anstieg des bewegungsinduzierten Signals mit zunehmender Kohärenz des RDK konnte gleichfalls in einer Studie mit ereigniskorrelierten Potentialen (EKP; Niedeggen & Wist, 1999) sowie in einer Magnetencephalographie Studie (MEG; Nakamura et al., 2003) nachgewiesen werden. Ausgewertet wurden hier die Amplituden der bewegungsvozierten N200 (EKP) und M200 (MEG), wobei die neuronalen Generatoren der beiden Komponenten mit hoher Wahrscheinlichkeit im Areal MT/V5 des humanen Cortex liegen.

* Es ist abschließend anzumerken, dass das Areal MT/V5 nicht in jedem Fall auf Informationen aus dem primären visuellen Cortex angewiesen ist. In einer EEG/MEG Studie konnte gezeigt werden, dass Bewegungsreize mit hoher Geschwindigkeit (hier: 22° Schwinkel pro Sekunde) zu einer Aktivität in Areal MT/V5 des humanen Cortex führen, bevor Areal V1 aktiviert wird (ffytche, Guy & Zeki, 1995).

Zusammenfassend belegen die Befunde, dass der grundlegende Verarbeitungsschritt der Bewegungsintegration, der für einen globalen Bewegungsrichtungseindruck einer kohärenten Bewegung in einem Zufallspunkt-Kinematogramm notwendig ist, vom Areal MT/V5 des Primatencortex geleistet wird. Allerdings zeigt sich, dass höhere kortikale Areale wie LIP einen noch engeren Zusammenhang zwischen der gemessenen Aktivität und dem Bewegungserzept aufweisen können.

1.4 Selektive Aufmerksamkeit und die Verarbeitung kohärenter Bewegung

Der Einfluss selektiver Aufmerksamkeit auf die kortikale Bewegungsverarbeitung ist mit Hilfe von Einzelzell-Studien am Primaten bereits eingehend untersucht worden (Übersicht bei Treue, 2001). So findet sich ein Anstieg der Feuerrate von Neuronen in Areal MT, wenn das Versuchstier die visuell-räumliche Aufmerksamkeit auf ein RDK richtet, das sich an einem bestimmten Ort des Gesichtsfeldes befindet. Treue & Martínez-Trujillo (1999) konnten nachweisen, dass die Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf die bevorzugte Bewegungsrichtung von richtungsselektiven Neuronen in MT vergleichbar effektiv in ihrem Einfluss auf die Einzelzell-Aktivität ist wie die Verschiebung der räumlichen Aufmerksamkeit. Räumliche und nicht-räumliche Aufmerksamkeit können dabei offenbar additiv kombiniert werden. Wichtig erscheint der Befund, dass die Ausrichtung der Aufmerksamkeit gleichzeitig zu einer Absenkung der Feuerrate für das Neuron führt, das den nicht beachteten Reiz kodiert (siehe Treue, 2001). Cook & Maunsell (2002) kombinierten Einzelzelleitungen in den Arealen MT und VIP (ventrales intraparietales Areal) mit einer Detektionsaufgabe und konnten zeigen, dass die Entdeckungsleistung für eine kohärente Bewegung in einem Zufallspunkt-Kinematogramm an einem nicht beachteten Ort abnimmt. Gleichzeitig sinkt die Aktivität der Neurone in den beiden Arealen, wobei der Einfluss der selektiven Aufmerksamkeit auf die Aktivität in Areal VIP – das in der kortikalen Hierarchie über Areal MT steht (Felleman & van Essen, 1991) – ausgeprägter ist als für Areal MT (siehe auch Treue & Maunsell, 1996).

Am Menschen ist der Einfluss der selektiven Aufmerksamkeit auf die Bewegungsverarbeitung in einer Reihe von fMRT und EKP Studien belegt worden. Büchel et al. (1998) präsentierten in ihrer fMRT Untersuchung ein RDK mit einer radialen Bewegung der Punkte aus der Bildschirmmitte heraus (engl.: optic flow field). Die Probanden hatten die Aufgabe, die Bewegung des RDK entweder nicht zu beachten oder mögliche Veränderungen

der Punktgeschwindigkeit zu entdecken. Der berechnete Kontrast (beachtet > unbeachtet) zeigt eine erhöhte Aktivität der bewegungssensitiven Areale sowie einer Reihe von kleineren Gebieten in nahezu allen Bereichen des Cortex. Saenz, Buracas und Boyton (2002) konnten einen Einfluss der nichträumlichen, richtungsselektiven Aufmerksamkeit mit Hilfe von Zufallspunkt-Kinematogrammen nachweisen. Wiederum zeigte sich ein Effekt der Aufmerksamkeit auf die Hämodynamik für eine Vielzahl von visuellen Arealen, darunter MT/V5. Den Einfluss von objekt-basierter visueller Aufmerksamkeit auf frühe Komponenten des EKP zeigten Valdes-Sosa, Bobes, Rodriguez und Pinilla (1998). Es wurden - wie bei Valdes-Sosa et al. (2000), siehe oben - zwei übereinander gelagerte Kinematogramme dargeboten, so dass bei einer kohärenten Bewegung der Punkte der Eindruck zweier transparenter Flächen entstand. Trat bei Beachtung eines der beiden RDK eine kohärente Zielbewegung in dem nicht beachteten RDK auf, so zeigten sich die Amplituden der sensorischen P1 und N1 Komponenten des bewegungsbezogenen EKP deutlich reduziert, obwohl beide Reizmuster an derselben räumlichen Position dargeboten wurden.

1.5 Distraktoren in Paradigmen der selektiven Aufmerksamkeit

Die Wirkung von irrelevanter Information (Distraktoren) auf die Verarbeitung relevanter Information (Zielreize) kann in unterschiedlichen Paradigmen der selektiven Aufmerksamkeit nachgewiesen werden. Eriksen & Eriksen (1974) entwickelten das Flankierreiz-Paradigma (engl.: flanker task), bei dem ein Zielreiz in der räumlichen Nähe von Distraktoren dargeboten wird (Übersicht bei Eriksen, 1995; siehe auch Styles, 1997). In der Originalarbeit stellt der Stimulus eine Zeile aus fünf Buchstaben dar, wobei auf den mittleren Buchstaben, der den Zielreiz darstellt, schnellstmöglich reagiert werden soll. Links und rechts des Zielreizes werden zwei Distraktoren bzw. Flankierreize dargeboten (z.B. HSHH). Sind der Zielreiz und die Distraktoren mit inkompatiblen Reaktionen verknüpft (S: linke Taste; H: rechte Taste), so zeigt sich eine Zunahme der Reaktionszeit auf den Zielreiz im Vergleich mit einer neutralen oder kompatiblen Bedingung (kompatibel: SSSS; neutral: XXSXX). Eriksen & Eriksen (1974) konnten zeigen, dass der Einfluss von Distraktoren abhängig ist von der räumlichen Distanz zwischen Zielreiz und Distraktoren. Lavie (1995) variierte die Aufgabe, die mit der Reaktion auf den Zielreiz verbunden ist, und untersuchte die Distraktor-Interferenz für eine leichte Aufgabe (Reaktion auf den Zielreiz aufgrund von Farbe) und eine schwierigere Aufgabe (Reaktion aufgrund von Farbe und Form). In dieser Studie konnte gezeigt werden, dass der Einfluss von Distraktoren auf die Reaktionszeit in der schwierigen

Aufgabe, die nach Lavie (1995) mehr Verarbeitungsressourcen erfordert, kaum ausgeprägt ist. Lavie & Tsal (1994) gehen davon aus, dass die perzeptuellen Anforderungen der Aufgabe (engl.: perceptual load) die Stufe der Verarbeitung bestimmen, an der die Selektionsprozesse der visuellen Aufmerksamkeit ansetzen.

Das Paradigma der visuellen Suche stellt ein gleichermaßen ausführlich untersuchtes Paradigma der selektiven Aufmerksamkeit dar (Treisman & Gelade, 1980; Übersicht bei Wolfe, 2003). Die Aufgabe der Probanden besteht darin, auf dem Bildschirm in einer Anzahl von Distraktorreizen einen definierten Zielreiz zu entdecken (z.B. ein grünes X inmitten von anderen Buchstaben in verschiedenen Farben). Ein typisches Verhaltensmaß besteht in der Erfassung der Reaktionszeit bis zur Entdeckung des Zielreizes. Die ursprünglich postulierte Trennung zwischen einer parallelen Suche, die unabhängig von der Distraktoranzahl zu einer konstanten Reaktionszeit führen soll, und einer seriellen Suche, die mit steigender Distraktoranzahl eine monoton anwachsende Reaktionszeit ergibt, wird in jüngerer Zeit nicht mehr angenommen (Wolfe, 1998). Vereinfacht lässt sich ein Unterschied zwischen effizienteren und ineffizienteren Suchprozessen feststellen, der im wesentlichen von den Stimulusmerkmalen des Zielreizes und der Distraktoren abhängt. Eine effiziente Suche ist etwa für den Fall möglich, dass sich der Zielreiz in einem bestimmten Merkmal (z.B. Farbe, Orientierung oder Bewegung) von den Distraktoren unterscheidet. Duncan & Humphreys (1989) gehen davon aus, dass die Ähnlichkeit zwischen Zielreiz und Distraktoren eine wesentliche Rolle für die Art des Suchprozesses spielt, wobei der Begriff der Ähnlichkeit jedoch nicht exakt zu fassen ist.

Unterschiedliche Modelle der visuellen Suche nehmen an, dass die Selektionsprozesse der visuellen Aufmerksamkeit, die schließlich zur Entdeckung des Zielreizes führen, mit einer Inhibition der Distraktoren in Zusammenhang stehen. Experimentelle Befunde aufgrund von Einzelzelluntersuchungen am Affen sowie EKP/MEG und fMRT Studien am Menschen können diese Annahme einer Distraktor-Inhibition im Paradigma der visuellen Suche belegen (z.B. Luck & Hillyard, 1995; siehe auch Hopf, Boelmans, Schoenfeld, Heinze & Luck, 2002).

Mit Hilfe des *Negative Priming* Effekts (Dalrymple-Alford & Budayr, 1966; Tipper, 1985; Übersicht bei May, Kane & Hasher, 1995) ist die unterschiedliche Verarbeitung von relevanten Zielreizen und irrelevanten Distraktoren ebenfalls untersucht worden. Der Negative Priming Effekt liegt vor, wenn die Reaktion auf einen Reiz bei wiederholter

Darbietung verlangsamt ist. Dabei ist es eine Voraussetzung für den Effekt, dass der entsprechende Zielreiz zunächst als Distraktor dargeboten wird. In Abbildung 1.6 ist eine typische Stimulusanordnung des Negative Priming Paradigmas dargestellt.

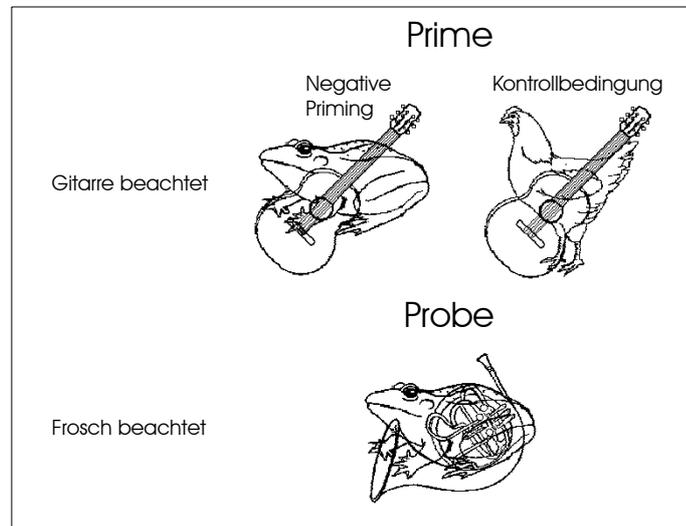


Abbildung 1.6 Negative Priming Paradigma. Wird ein Reiz (hier: Frosch) in einem *Primedisplay* als irrelevanter Distraktor dargeboten und im anschließenden *Probedisplay* als Zielreiz, so zeigt sich eine verlangsamte Reaktionszeit im Vergleich mit einer Kontrollbedingung. Distraktor und Zielreiz eines Displays können z.B. über die Farbe definiert werden (nach Tipper, 1985).

Wie in Abbildung 1.6 zu erkennen ist, werden im Paradigma des Negative Priming in einem *Primedisplay* und einem *Probedisplay* ein Zielreiz und ein Distraktor gleichzeitig dargeboten. Folglich müssen die Probanden den Distraktor möglichst ignorieren, um schnell auf den Zielreiz reagieren zu können. Stellt der im *Primedisplay* ignorierte Distraktor im *Probedisplay* den Zielreiz dar, so ergibt sich eine Zunahme der Reaktionszeit auf den Zielreiz im Vergleich mit einer Kontrollbedingung, in der der Reiz nicht wiederholt dargeboten wird.

Raymond, O'Donnell und Tipper (1998) entwickelten in Anlehnung an das *Negative Priming* ein Motion-Priming Paradigma, um den Einfluss der selektiven Aufmerksamkeit auf einen zuvor von Raymond & Isaak (1998) berichteten Effekt zu untersuchen: falls auf die kurze Darbietung einer kohärenten Bewegung in einem RDK eine zweite kohärente Bewegung folgt, so ergibt sich eine erhöhte Schwelle für die Richtungsdiskrimination der zweiten Bewegung, wenn die Richtung der beiden präsentierten kohärenten Bewegungen übereinstimmt. Mit dem in Abbildung 1.7 dargestellten experimentellen Aufbau untersuchten Raymond et al. (1998), inwieweit die Beachtung bzw. Nichtbeachtung der ersten kohärenten Bewegung einen Einfluss auf den beschriebenen Effekt nimmt.

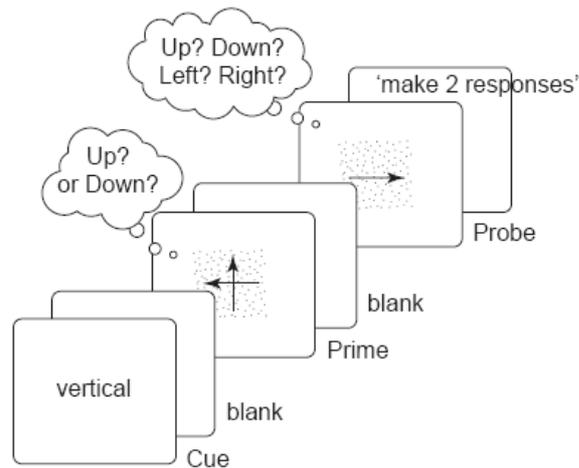


Abbildung 1.7 Motion-Priming Paradigma. Auf dem Bildschirm erscheint zunächst ein Hinweis (Cue), welche Bewegungsrichtungen (horizontale, vertikale) im folgenden *Primedisplay* (RDK) beachtet werden sollen. Anschließend erfolgt die Richtungsdiskrimination in einem *Probedisplay* (RDK). In Abhängigkeit vom Hinweisreiz ergeben sich unterschiedliche Effekte auf die Diskriminationsschwelle für das *Probedisplay* (aus: Raymond, O'Donnell & Tipper, 1998).

Wie Abbildung 1.7 zu entnehmen ist, wird den Probanden beim Motion-Priming Paradigma zunächst ein Hinweisreiz präsentiert, der angibt, welche Bewegungsrichtungen (horizontale oder vertikale) im folgenden *Primedisplay* zu beachten sind. Anschließend wird in einem *Probedisplay* eine Bewegung (nach oben, unten, links oder rechts) variabler Kohärenz dargeboten. Nach jedem Durchgang sollen die Probanden eine 2-fach Wahlaufgabe für das *Primedisplay* und eine 4-fach Wahlaufgabe für das *Probedisplay* bearbeiten, die in der Angabe der entdeckten Bewegungsrichtung besteht. Die Ergebnisse von Raymond et al. (1998) zeigen, dass die Kohärenzschwellen der Richtungsdiskrimination für das *Probedisplay* abhängig sind davon, welche Bewegungsrichtungen im *Primedisplay* beachtet wurden. So konnte die von Raymond & Isaak (1998) beschriebene Erhöhung der Schwelle für das *Probedisplay* aufgehoben werden, wenn die entsprechende Bewegungsrichtung im *Primedisplay* nicht beachtet werden sollte.

Die Ergebnisse aus den verschiedenen Paradigmen der selektiven Aufmerksamkeit zeigen insgesamt einen deutlichen Einfluss von Distraktoren auf die Verhaltensleistung von Probanden. In der Regel wird der Effekt der Distraktoren anhand von verlangsamten Reaktionszeiten oder einer verminderten Genauigkeit der Reaktion sichtbar.

1.6 Fragestellungen der vorliegenden Arbeit

Wie bereits ausgeführt, stellen Distraktoren im Paradigma der experimentell induzierten Bewegungsblindheit die grundlegende Voraussetzung für eine verringerte Detektion des Zielreizes dar. Zwar zeigt sich ein Effekt von Distraktoren auch in anderen Paradigmen der selektiven Aufmerksamkeit, jedoch stellt der Distraktoreffekt im Motion Blindness Paradigma insofern eine Ausnahme dar, als dass hier die Detektion des Zielreizes und nicht eine Reaktion auf diesen beeinflusst wird. Aus diesem Grund steht im Mittelpunkt der vorliegenden Arbeit die Untersuchung der Wirkung und der Wirkungsweise von Distraktoren im Motion Blindness Paradigma.

In einem ersten psychophysischen Experiment sollte überprüft werden, ob Distraktoren im Motion Blindness Paradigma möglicherweise zu einer fehlerhaften zeitlichen Zuordnung von Farb- und Bewegungsreizen im Sinne einer „perzeptuellen Asynchronität“ führen (Moutoussis & Zeki, 1997a). Experiment 1 knüpft als wichtiges Kontrollexperiment an die bereits durchgeführten Untersuchungen von Sahraie et al. (2001) mit dem Ziel an, mögliche Alternativerklärungen des Effekts der experimentell induzierten Bewegungsblindheit auszuschließen.

Im zweiten psychophysischen Experiment der vorliegenden Arbeit sollte der Effekt der Anzahl und der zeitlichen Position von Distraktoren auf die Detektionsleistung untersucht werden. Das Ziel von Experiment 2 ist es, die Wirkung von Distraktoren im Motion Blindness Paradigma genauer zu beschreiben, um auf diese Weise das Erklärungsmodell von Sahraie et al. (2001) ggf. präzisieren zu können.

Im dritten und vierten Experiment wurde zusätzlich zur Überprüfung der Verhaltensleistung die Methode der ereigniskorrelierten Potentiale verwendet, um die Verarbeitung von Distraktoren im Motion Blindness Paradigma mit hoher zeitlicher Auflösung zu untersuchen. Die EKP Methode stellt ein geeignetes Verfahren dar, um schnell abfolgende Ereignisse in RSVP-Sequenzen voneinander trennen zu können (siehe Luck, Woodman & Vogel, 2000). Das Distraktor-EKP wurde insbesondere im Hinblick auf das Erklärungsmodell von Sahraie et al. (2001), das eine Inhibition der Distraktoren annimmt, untersucht. In Experiment 3 wurde auf der Ebene des Verhaltens zusätzlich überprüft, ob eine zunehmende Vertrautheit mit der schnellen Reizabfolge bzw. Übungseffekte beim Effekt der experimentell induzierten Bewegungsblindheit eine Rolle spielen.

2 Allgemeine Methode

Im folgenden wird die allgemeine Methode beschrieben, die allen durchgeführten Experimenten zugrundeliegt. In den Methodenteilen der einzelnen Experimente finden sich die Ergänzungen sowie die Abweichungen von dieser Grundlage.

2.1 Ort und Zeit der Untersuchungen

Die Untersuchungen wurden zwischen September 2002 und März 2004 im Versuchslabor Elektrophysiologie I (Raum 23.03.00.43) des Instituts für Experimentelle Psychologie II (Lehrstuhl: Prof. Dr. Petra Stoerig) an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf durchgeführt. Der fensterlose Versuchsraum verfügte über eine Schallreduzierung und eine Lichtquelle für indirekte Beleuchtung.

2.2 Versuchsapparatur

Die Versuchspersonen (Vpn) saßen an einem Tisch mit angebrachter Kinnstütze vor einem 21“ CRT-Monitor (SONY GDM-F520), der in 57 cm Abstand zu den Augen der Vpn aufgestellt war. Der visuelle Stimulus wurde von einem VSG2/5 System (Cambridge Research Systems Ltd.) generiert, das mit eigener Software angesteuert wurde. Die Software wurde in C++ programmiert (C++ Builder 3, Borland). Die Eingaben der Vpn wurden mit Hilfe einer 4-Tasten-Reaktionsbox (Modell CT3, Cambridge Research Systems Ltd.) registriert.

2.3 Das Motion Blindness Paradigma

2.3.1 Stimulusbildschirm

Abbildung 2.1 zeigt den schematischen Aufbau des visuellen Stimulus. Im Mittelpunkt des Bildschirms befand sich ein farbiger Kreis (Durchmesser: 0.6° [deg]; mittlere Luminanz: 25 cd/m^2), der als Fixationspunkt diente. Eine hellgraue Kreisfläche (Durchmesser: 3.5° ; 31 cd/m^2) grenzte den Fixationspunkt von einem dunkelgrauen, quadratischen Hintergrund ab (Seitenlänge: 25° ; 19.2 cd/m^2). Auf diesem Hintergrund befanden sich 400 kleine, weiße Quadrate (Seitenlänge: 0.18° ; 146 cd/m^2). Die Quadrate bildeten als bewegte Punkte ein Zufallspunkt-Kinematogramm (engl.: random dot kinematogram, RDK; Newsome & Paré, 1988). Die übrige Fläche am äußeren Rand des Bildschirms war grau (31 cd/m^2).

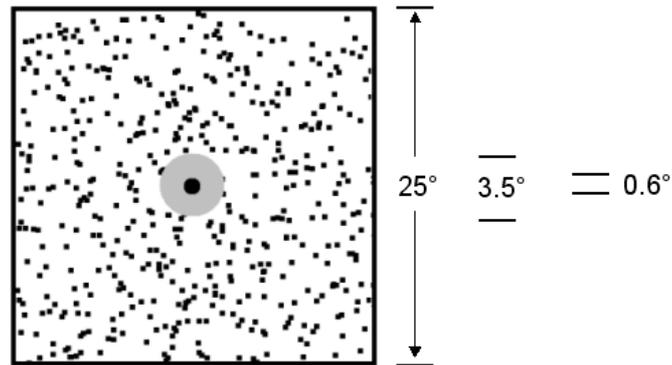


Abbildung 2.1 Schematische Darstellung des visuellen Stimulus. Im Mittelpunkt des Bildschirms befand sich ein farbiger Kreis. Im Umfeld bildeten 400 kleine Quadrate ein Zufallspunkt-Kinematogramm. Das Größenverhältnis, die Farbgebung sowie die Anzahl der Zufallspunkte in der Abbildung entsprechen nicht der tatsächlichen Darstellung auf dem Bildschirm.

2.3.2 Parameter des Zufallspunkt-Kinematogramms (RDK)

Die Dichte des Zufallspunkt-Kinematogramms betrug $0.64 \text{ Punkte/deg}^2$. Mit jedem neuen Bildaufbau wurden die Punkte um 0.15° versetzt. Bei einer Bildwiederholffrequenz des Monitors von 100 Hz ergab sich eine Geschwindigkeit der Punkte von 15° pro Sekunde.

Solche Punkte, die sich in einem gegebenen Zeitfenster in dieselbe Richtung bewegten, sollen im folgenden als Signalpunkte bezeichnet werden. Die Signalpunkte konnten sich in die vier Hauptrichtungen (oben, unten, links, rechts) bewegen. Diejenigen Punkte, die in einem gegebenen Zeitfenster keine gemeinsame Richtung aufwiesen, sollen im folgenden Rauschpunkte heißen. Die Rauschpunkte konnten sich in alle Richtungen bewegen.

Das Signal-Rausch-Verhältnis eines Kinematogramms wird als Kohärenz oder Korreliertheit bezeichnet und zumeist in Prozent angegeben (siehe Zanker & Braddick, 1999). Dabei bestimmt die Kohärenz des Kinematogramms die Stärke des Bewegungsrichtungseindrucks (siehe allgemeine Einleitung) und in der Folge die Schwellen für die Detektion und Diskrimination der Bewegungsrichtung (Rees et al., 2000).

Ausgehend von ihrer ursprünglichen Position wurden die Rauschpunkte bei jedem neuen Bildaufbau in einer zufällig ausgewählten Richtung versetzt. Dieser Typ des Rauschens kann in Anlehnung an den gebräuchlichen englischen Ausdruck *random walk* als „Zufallsweg“ bezeichnet werden (Scase et al., 1996).

Die Signalpunkte des Kinematogramms trugen das Richtungssignal nur für einen begrenzten Zeitraum. Das Signal wurde nach jeweils 20 ms (entspricht einem zweimaligen Bildaufbau bei 100 Hz) an Rauschpunkte übertragen - unter der Voraussetzung, dass ausreichend Rauschpunkte zur Verfügung standen. In der Literatur findet sich die Bezeichnung von Signalpunkten mit „begrenzter Lebenszeit“ (engl.: *limited lifetime*; Scase et al., 1996). Im vorliegenden Kinematogramm wurde nach Ablauf der 20 ms eine neue Zufallsauswahl von Signalpunkten aus der Gesamtheit der Punkte getroffen*. Die auf diese Weise erzielte, zeitlich begrenzte Bindung des Signals an einzelne Punkte führt zu einer ständig wechselnden, globalen Verteilung des Richtungssignals im Kinematogramm (Newsome & Paré, 1988). Einzelne Punkte waren somit nicht informativ bezüglich der globalen Bewegungsrichtung. Im direkten Vergleich zu Kinematogrammen mit „unbegrenzter Lebenszeit“ führt diese Methode zu höheren Schwellen für die Detektion und Diskrimination der Bewegungsrichtung (Bischof, Reid, Wylie & Spetch, 1999).

Im Falle, dass Signal- oder Rauschpunkte die räumliche Begrenzung des vorliegenden Kinematogramms überschritten, wurden sie an die gegenüberliegende Seite der betreffenden Grenzfläche versetzt (engl.: *wrap around*; Raymond, 1993).

2.3.3 Stimulussequenzen und Aufgabe der Vpn

Während eines Versuchsdurchgangs, der ca. 5 Sekunden dauerte, liefen auf dem Bildschirm gleichzeitig eine lokale und eine globale Stimulussequenz in schneller Abfolge ab (RSVP; siehe Broadbent & Broadbent, 1987). Nach dem Ablauf eines Versuchsdurchgangs stand der Stimulus still, war aber weiterhin auf dem Bildschirm sichtbar.

Auf der Ebene des Fixationspunkts wurde die lokale Stimulussequenz definiert. Der Fixationspunkt wechselte die Farbe mit einer Frequenz von 10 Hz. Es wurden die Farben Hellblau, Dunkelblau, Hellgrün, Dunkelgrün, Hellgelb, Mattgelb sowie verschiedene Grautöne in zufälliger Reihenfolge dargeboten. Die Farbe Rot wurde nur ein einziges Mal im Verlauf einer Sequenz dargeboten und diente als Hinweisreiz (siehe unten). Dabei unterschied sich die Luminanz der Farbe Rot nicht wesentlich von der mittleren Luminanz der übrigen Farben.

* Eine andere Methode der *limited lifetime* beschreiben Baker, Hess und Zihl (1991).

Die globale Sequenz wurde auf der Ebene des Kinematogramms definiert. Als Grundbewegung diente das Rauschen aller Punkte (0% Kohärenz). Das Rauschen konnte von kurzen Epochen kohärenter Bewegung abgelöst werden (100% Kohärenz). Eine kohärente Epoche dauerte jeweils 100 ms. Die Anzahl kohärenter Epochen wurde experimentell variiert und betrug zwischen 1 und 10. Wenn eine kohärente Bewegung in der globalen Sequenz auftrat, so erfolgte der Beginn der Bewegung zeitgleich mit dem Beginn des Farbwechsels in der lokalen Sequenz.

In Abbildung 2.2 ist der Ablauf der Stimulussequenzen schematisch dargestellt. Die Darbietung eines roten Fixationspunkts diente als Hinweisreiz und unterteilte einen Versuchsdurchgang in zwei Zeitbereiche. Im Zeitbereich vom Beginn eines Durchgangs bis zur Darbietung des Hinweisreizes konnten auf globaler Ebene mehrere Epochen kohärenter Bewegung dargeboten werden. Im Zeitbereich beginnend mit der Darbietung des Hinweisreizes bis zum Ende des Durchgangs trat nur eine einzige kohärente Bewegung auf. Der erste Zeitbereich dauerte ca. 3500 ms, der zweite ca. 1500 ms.

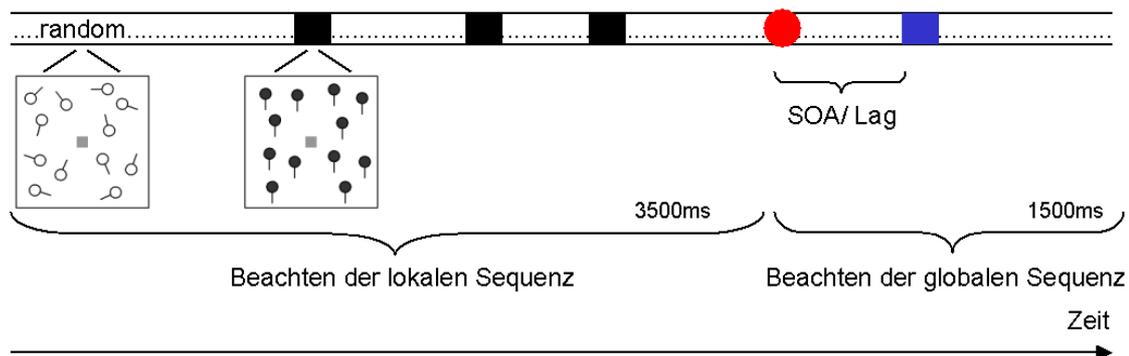


Abbildung 2.2 Ablauf der Stimulussequenzen. Das Rauschen des Kinematogramms und die Farbwechsel des Fixationspunkts waren der Grundzustand des Stimulus („random“). Ein roter Fixationspunkt (roter Kreis) definierte den Hinweisreiz. Vor dem Hinweisreiz dienten kurze Epochen kohärenter Bewegung als Distraktoren (schwarze Rechtecke). Ab dem Hinweisreiz galt eine kohärente Bewegung als Zielreiz (blaues Rechteck). Das Zeitintervall zwischen Hinweis- und Zielreiz wurde experimentell variiert (SOA bzw. Lag).

Die Vpn sollten zunächst die lokale Farbsequenz beachten, um den roten Hinweisreiz zu entdecken. Ab der Darbietung des Hinweisreizes sollten die Vpn die globale Sequenz beachten, um eine kohärente Bewegung als Zielreiz zu entdecken und ggf. die Bewegungsrichtung zu diskriminieren. Kohärente Bewegungen vor der Darbietung des Hinweisreizes sollten von den Vpn hingegen nicht beachtet werden. Diese Bewegungen werden im folgenden als Distraktoren bezeichnet. Das Zeitintervall zwischen der Darbietung des Hinweis- und des Zielreizes (engl.: stimulus onset asynchrony, SOA) wurde experimentell variiert. Ein SOA von 0 ms entspricht einer simultanen Darbietung von

Hinweis- und Zielreiz und wird in der vorliegenden Arbeit als Lag 0 bezeichnet. Entsprechend wird ein SOA von 100 ms als Lag 1, ein SOA von 200 ms als Lag 2 etc. bezeichnet. Diese Bezeichnung wird auch in anderen Studien der visuellen Aufmerksamkeit verwendet, z.B. in Untersuchungen zum Attentional Blink (Raymond et al., 1992).

Um eine mögliche visuelle Maskierung der Zielbewegung auszuschließen, wurde die letzte Distraktorbewegung mindestens 400 ms vor Beginn des Hinweisreizes dargeboten (Breitmeyer, 1984). Zudem waren die Bewegungsrichtungen des letzten Distraktors und des Zielreizes stets unterschiedlich, um ein perzeptuelles Priming der Bewegungsrichtung zu vermeiden (Raymond et al., 1998). Die Bewegungsrichtungen der übrigen Distraktoren wurden zufällig ermittelt, wobei auf eine annähernde Gleichverteilung der Richtungen in einem Durchgang geachtet wurde.

Nach jedem Versuchsdurchgang erfolgten die Eingaben der Vpn. Zunächst sollte angegeben werden, ob der Zielreiz detektiert oder nicht detektiert wurde (linke bzw. rechte Taste). In den Experimenten 2 und 3 erfolgte zusätzlich die Eingabe der Bewegungsrichtung des Zielreizes über die entsprechenden Tasten (oben, unten, links, rechts). Für nicht entdeckte Zielreize sollte eine Bewegungsrichtung geraten werden. Allein in Experiment 1 erforderte die Instruktion andere Eingaben (siehe Methodenteil 1). Nach den Eingaben konnten die Vpn den nächsten Durchgang mit einem weiteren Tastendruck starten.

2.4 Das Motion Blindness Paradigma in bereits veröffentlichten Studien

In zwei veröffentlichten Studien ist das Motion Blindness Paradigma bereits verwendet worden. Sahraie et al. (2001) verwendeten anstatt einer quadratischen Fläche einen Annulus für das Zufallspunkt-Kinematogramm (Durchmesser: 24.5°). Das Kinematogramm wurde von 157 weißen und 157 schwarzen Punkten gebildet. In einer Epoche kohärenter Bewegung ergab sich die Gruppe der Signalepunkte entweder aus den weißen oder aus den schwarzen Punkten, so dass der Eindruck einer transparenten Bewegung entstand. Niedeggen et al. (2002) verwendeten ebenfalls einen Annulus für das Kinematogramm (Durchmesser: 24.5°). Das Kinematogramm wurde hier von 157 weißen Punkten gebildet. In beiden Studien waren die Signalepunkte von „unbegrenzter Lebenszeit. Als Nachteil bestand hier die Möglichkeit, dass Vpn sich bei der Entdeckung kohärenter Bewegungen auf das Signal einzelner Punkte verlassen konnten. Die Diskrimination der Bewegungsrichtung bezog sich in beiden Studien auf die Unterscheidung von horizontalen und vertikalen Bewegungen (2 AFC).

2.5 Versuchspläne

Die Versuchspläne der einzelnen Experimente werden in den jeweiligen Methodenteilen dargestellt. Es handelt sich dabei immer um univariate Designs mit Messwiederholungen.

2.6 Versuchsdurchführung

2.6.1 Rekrutierung der Vpn

Die Vpn wurden über Aushänge an den schwarzen Brettern der Universität und durch persönliche Ansprache rekrutiert. Bei der Mehrzahl der Vpn handelte es sich um an den Untersuchungen interessierte Studierende der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf. Die Teilnahme an den Versuchen wurde mit 5 € pro Stunde bezahlt.

2.6.2 Vorbereitung der Versuche

Die Vpn wurden vor Beginn der Untersuchung über die Art des Reizmusters, die Dauer des Versuchs und in den Experimenten 3 und 4 über die verwendete elektrophysiologische Methode informiert. Anschließend erhielten die Vpn eine standardisierte Instruktion sowie ein Training von individueller Dauer (ca. 10 Minuten), um die Aufgabe bearbeiten zu können. Die Vorbereitung der EEG-Ableitungen in den Experimenten 3 und 4 nahm weitere 40 Minuten in Anspruch. Für die elektrophysiologischen Experimente wurden die Vpn zusätzlich instruiert, während des Ablaufs der Stimulussequenzen nicht zu blinzeln.

2.6.3 Durchführung der Versuche

Die Messungen dauerten zwischen 60 und 90 Minuten. Der Untersuchungszeitraum wurde für jede Vp in Blöcke von ca. 20 Minuten Dauer unterteilt. Die Zeit zwischen den Blöcken konnte als Pause genutzt werden. Auf individuelle Pausenwünsche wurde ggf. eingegangen. Während der Untersuchungen saßen die Vpn im abgedunkelten Versuchsraum und bearbeiteten die Aufgabe ohne Rückmeldung durch den Versuchsleiter. Alle Vpn wurden erst nach dem Experiment über ihre psychophysische Leistung informiert.

2.7 Psychophysiologie (ereigniskorrelierte Potentiale)

2.7.1 Erfassung des EEG Signals

Zur Erfassung des EEG Signals in den Experimenten 3 und 4 wurden 30 Ag/AgCl-Elektroden mit Hilfe einer elastischen Elektrodenkappe (EasyCap, Falk Minow Services) auf dem Kopf der Vp befestigt. Die Masseelektrode befand sich ca. 1 cm anterior von Cz. Im Methodenteil von Experiment 3 ist die Elektrodenanordnung der verwendeten Kappe dargestellt.

Vor der Messung wurde die Kopfhaut der Probanden mit Isopropylalkohol (70%) und einem aufrauenden Elektrolytgel (Abralyt 2000, Falk Minow Services) vorbehandelt. Als gemeinsame Referenz für das Signal dienten die verbundenen Mastoiden. Es wurde darauf geachtet, dass die gemessenen Impedanzen 10 k Ω nicht überschritten und vergleichbar waren (± 5 k Ω). Die Impedanzen der Referenzelektroden wurden auf strengere Vergleichbarkeit (± 1 k Ω) überprüft, um topographische Verzerrungen des EEG zu vermeiden (Miller, Lutzenberger & Elbert, 1991). Das horizontale EOG wurde bipolar zwischen den äußeren Canthi der beiden Augen abgeleitet. Das vertikale EOG wurde am rechten Auge ebenfalls bipolar abgeleitet.

Für die Aufnahme wurden 4 EEG8 Verstärker verwendet (Contact Precision Instruments). Die EEG Signale wurden mit AC-Charakteristik verstärkt (Bandpass: 0.03 – 200 Hz), selektiv im Bereich von 50 Hz gefiltert (Notch Filter) und anschließend über eine AD-Wandlerkarte (DAS-1802HC, Keithley Instruments Inc.) mit einer Abtastfrequenz von 250 Hz erfasst. Mit Hilfe der Software ACQUIRE (Version 4.1.1, Neurosoft Inc.) wurde das EEG kontinuierlich aufgezeichnet.

Der Triggerpuls (Rechtecksignal: 5 μ V, 100 ms) für die reizbezogene Auswertung des EEG wurde von der Hardware erzeugt, die auch den visuellen Stimulus generierte (VSG2/5, Cambridge Research Systems Ltd.), und als zusätzlicher EEG Kanal aufgezeichnet.

2.7.2 Verarbeitung und Auswertung des EEG Signals

Für die Verarbeitung der kontinuierlichen EEG Datensätze wurde das Programm BrainVision Analyzer verwendet (Version 1.04; BrainProducts GmbH). Die Auswertung umfasste die Amplitude des EKP (ereigniskorreliertes Potential) sowie die Topographie des EKP auf der Kopfoberfläche. Die Parameter der digitalen *offline* Filterung sowie der Baseline- und

Artefakt-Korrekturen finden sich in den Methodenteilen der Experimente 3 und 4. Es wurde darauf geachtet, dass in die Mittelungen auf der Ebene einzelner Vpn (*averages*) mindestens 25 Segmente für jede Bedingung eingingen. In die Mittelungen über alle Vpn (*grand averages*) gingen mindestens 10 Vpn ein.

Für die deskriptive Darstellung von EKP Topographien wurde zunächst das Signal jeder Elektrode zu jedem Zeitpunkt auf das gemittelte Signal aller Elektroden umreferenziert, um lokale Unterschiede hervorzuheben (*average reference*; Übersicht bei Dien, 1998). Für die zweidimensionale (2D) Darstellung wurde die 3D Anordnung der Elektroden mittels Glättung in eine 2D Ebene überführt. Dabei liegen bei der graphischen Darstellung (Ansicht von oben auf den Kopf) die Elektroden F7, F8, T7, T8, P7, P8, O1, O2 und Oz auf dem äußeren Rand der standardisierten Kopfzeichnung. Der Vorteil der 2D Darstellung besteht darin, dass die Topographie eines Potentials in einer einzigen Abbildung zusammengefasst werden kann. Die Farbcodierung der Topographien (rot für positive, blau für negative Werte) wurde mit Hilfe von *spherical splines* (Perrin et al., 1989/ 1990) interpoliert. Verwendet wurden dabei die Standardeinstellungen des BrainVision Analyzer in der Version 1.04 (BrainProducts GmbH).

2.8 Statistische Auswertung der Daten

Für die statistische Auswertung der psychophysischen und elektrophysiologischen Daten wurde das Programmpaket SPSS verwendet (Version 11.5.1, SPSS Inc.). Die statistischen Verfahren sind in den Methodenteilen der einzelnen Experimente beschrieben.

In allen Experimenten wurden Vpn von der Auswertung ausgeschlossen, wenn die Quote ihrer falschen Alarme mehr als eine Standardabweichung über dem Gruppenmittelwert lag. In den Experimenten 3 und 4 konnten Vpn zusätzlich aufgrund von EKP Kriterien ausgeschlossen werden.

3 Experiment 1

Ist die perzeptuelle Asynchronität von Farbe und Bewegung am Effekt der Motion Blindness beteiligt?

3.1 Einleitung

In Experiment 1 der vorliegenden Arbeit sollte der Frage nachgegangen werden, ob eine fehlerhafte zeitliche Zuordnung von Hinweisreiz (definiert durch Farbe) und Zielreiz (definiert durch kohärente Bewegung) zum Motion Blindness Effekt beiträgt. Die Grundlage für diese Fragestellung soll im folgenden erläutert werden.

3.1.1 Perzeptuelle Asynchronität von Farbe und Bewegung

Unterschiedliche Stimuluseigenschaften werden in verschiedenen Arealen des visuellen Cortex verarbeitet (Felleman & van Essen, 1991; Zeki, 1978). Dabei unterscheiden sich die Antwortlatenzen der spezialisierten Areale, also die Zeit, die zwischen der Darbietung eines Reizes bis zur ersten reizgebundenen Aktivität in einem Areal vergeht (Schmolesky et al., 1998). Im Cortex von Primaten wird die erste Zunahme von Einzelzellaktivität im bewegungsspezifischen Areal MT nach ca. 76 ms registriert. Eine entsprechende Aktivierung im farbspezifischen Areal V4 findet sich nach ca. 106 ms (Übersicht bei Lamme & Roelfsema, 2000). Auf Einzelzellniveau können Bewegungsinformationen somit vor Farbinformationen verarbeitet werden (Livingstone & Hubel, 1987). Die alltägliche Erfahrung allerdings deutet nicht auf eine zeitlich versetzte, asynchrone Wahrnehmung von Farbe und Bewegung hin.

Moutoussis und Zeki (1997a, 1997b) konnten jedoch zeigen, dass sich unter experimentellen Bedingungen eine perzeptuelle Asynchronität von Farbe und Bewegung (sowie von anderen Merkmalspaaren, auf die hier nicht eingegangen wird) nachweisen lässt. Die Aufgabe der Probanden war es, die Farbe von bewegten Quadraten in Abhängigkeit von ihrer Bewegungsrichtung anzugeben. Dabei änderte sich sowohl die Farbe (rot, grün) als auch die Bewegungsrichtung der Quadrate (nach oben, nach unten) entsprechend derselben Frequenz, aber mit unterschiedlicher Phase. Es zeigte sich, dass ein Wechsel der Bewegungsrichtung ca. 75 ms vor einem Farbwechsel der Quadrate stattfinden musste, um als synchron mit dem

Farbwechsel wahrgenommen zu werden. Moutoussis und Zeki (1997a, 1997b) kamen zu der Schlussfolgerung, dass die Wahrnehmung von Farbe der Bewegungswahrnehmung um ca. 75 vorausgeht. Zeki (1998, 2003) formulierte u.a. aufgrund dieser Befunde die Modellvorstellung von eigenständigen „Wahrnehmungsmodulen“ für unterschiedliche Stimuluseigenschaften im visuellen Cortex. Erklärt wird der scheinbare Widerspruch zwischen der Einzelzellaktivität und den Verhaltensdaten damit, dass die Antwortlatenzen der visuellen Areale aufgrund von Prozessen der zeitlichen Signalintegration nicht gleichzusetzen sind mit „Perzeptlatenzen“.

In Untersuchungen zum farbkontingenten Bewegungsnacheffekt kamen Arnold, Clifford und Wenderoth (2001) ebenfalls zu dem Ergebnis einer perzeptuellen Asynchronität von Farbe und Bewegung. Viviani und Aymoz (2001) bestätigten in einem weiteren Paradigma unter Verwendung nicht-periodischer Stimuli die Befunde von Moutoussis und Zeki (1997a, 1997b).

Nishida und Johnston (2002) führen ihre Befunde einer perzeptuellen Asynchronität von Farbe und Bewegung im Gegensatz zu Zeki (1998, 2003) nicht auf das Vorhandensein von Wahrnehmungsmodulen, sondern das Konzept von zeitlichen Markerprozessen zurück. Weiterhin wiesen Bedell, Chung, Ogmen und Patel (2003) sowie Adams und Mamassian (2004) nach, dass die Ausprägung der perzeptuellen Asynchronität wesentlich von der Aufgabe der Probanden und der Salienz der Stimulusmerkmale beeinflusst wird. So konnten Adams und Mamassian (2004) eine Asynchronität „Farbe vor Bewegung“ nur in einer perzeptuellen Wahl-Reaktionsaufgabe nachweisen. Für eine rein motorische Reaktionsaufgabe zeigten sie hingegen eine Asynchronität „Bewegung vor Farbe“.

3.1.2 Motion Blindness und perzeptuelle Asynchronität

Im Motion Blindness Paradigma kommt es wesentlich darauf an, dass die Probanden die Abfolge der Farb- und Bewegungsreize korrekt erfassen. Eine kohärente Bewegung des Kinematogramms gilt entsprechend der Instruktion als irrelevant, wenn diese vor dem Erscheinen des roten Fixationspunkts dargeboten wird. Beginnend mit der Darbietung des roten Fixationspunkts gilt eine kohärente Bewegung hingegen als Zielreiz. Die zeitliche Zuordnung des Bewegungsperepts relativ zum Farbperzept (oder umgekehrt) bestimmt also die Klassifikation der kohärenten Bewegung als Distraktor oder Zielreiz.

Die möglichen Auswirkungen einer perzeptuellen Asynchronität auf das Antwortverhalten der Vpn im Paradigma der Motion Blindness sind in Abbildung 3.1 dargestellt. Wird bei simultaner Darbietung die Zielbewegung später wahrgenommen als der rote Hinweisreiz, so wird die Vp den Durchgang mit der korrekten Eingabe „Zielreiz gesehen“ (Treffer) abschließen. Nimmt die Vp den Zielreiz jedoch früher wahr als den Hinweisreiz, so wird der Zielreiz falsch als Distraktor klassifiziert. Die Vp wird diesen Durchgang mit der Eingabe „Zielreiz nicht gesehen“ (Verpasser) abschließen. In diesem Fall handelt es sich um einen Verpasser aufgrund einer perzeptuellen Asynchronität „Bewegung vor Farbe“.

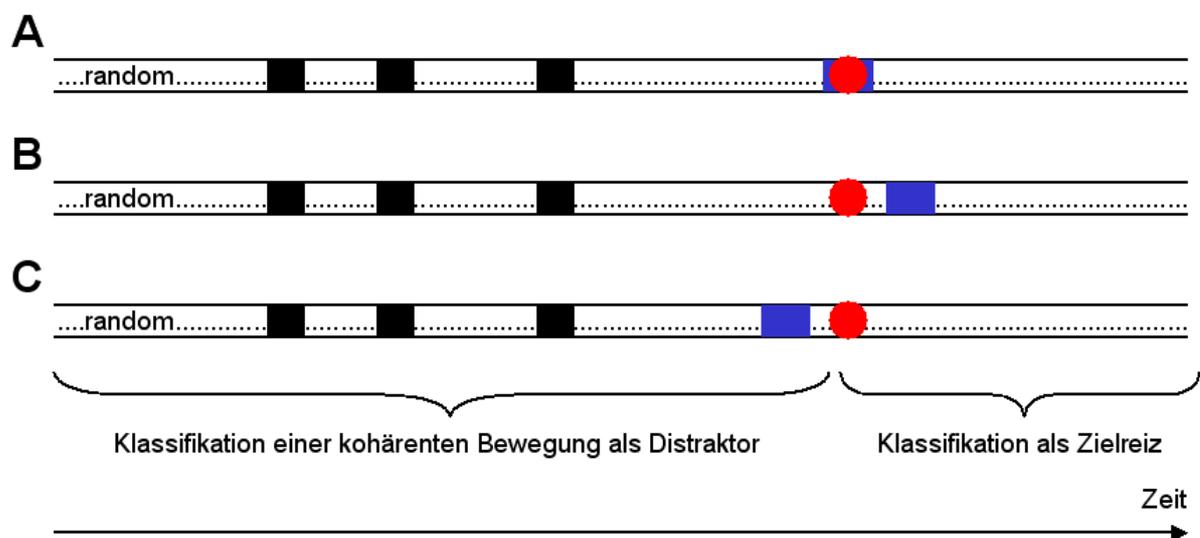


Abbildung 3.1 Der Hinweisreiz (roter Kreis) und eine kohärente Zielbewegung (blaues Rechteck) werden simultan dargeboten (A). Wird Farbe vor Bewegung wahrgenommen, wird der Zielreiz korrekt als Zielreiz erkannt (B). Wird Bewegung vor Farbe wahrgenommen, wird der Zielreiz falsch als Distraktor klassifiziert (C).

Das Paradigma der Motion Blindness unterscheidet sich allerdings wesentlich von dem von Moutoussis und Zeki (1997a, 1997b). Der Unterschied im Stimulusaufbau besteht darin, dass beim Motion Blindness Paradigma zwei räumlich getrennte Reizsequenzen von Farbe und Bewegung dargeboten werden. Die Aufgabe der Vpn ist es hier, jeweils eine der beiden Sequenzen zu beachten, was wiederum die zeitliche Zuordnung von Reizen beeinflussen kann (Shore, Spence & Klein, 2001). Eine perzeptuelle Asynchronität von Farbe und Bewegung ist unter diesen untypischen Bedingungen dennoch nicht ausgeschlossen (Nishida & Johnston, 2000).

3.1.3 Fragestellung und Hypothese

In Experiment 1 sollte untersucht werden, ob eine perzeptuelle Asynchronität von Farbe und Bewegung zum Motion Blindness Effekt beiträgt. Der Motion Blindness Effekt ist für kurze Lags zwischen Hinweis- und Zielreiz abhängig von der Darbietung von Distraktorreizen (Sahraie et al., 2001). Wenn die perzeptuelle Asynchronität am Effekt der Motion Blindness beteiligt ist, dann sollte sich abhängig vom Lag ein Einfluss von Distraktoren auf die fehlerhafte zeitliche Zuordnung „Bewegung vor Farbe“ zeigen.

3.2 Methode

3.2.1 Stichprobenbeschreibung

Die Daten wurden an 12 gesunden Vpn ermittelt. Davon gingen 11 Vpn (7 weiblich) in die Auswertung ein. Der Altersdurchschnitt dieser Vpn betrug 29.82 Jahre (20 – 38 Jahre).

3.2.2 Stimulus, Aufgabe der Vpn und Operationalisierung der Variablen

Die grundlegenden Stimulusparameter finden sich im allgemeinen Methodenteil. In Experiment 1 gab es globale Sequenzen, in denen keine oder sechs Distraktoren dargeboten wurden (UV1). Dabei wurden die Distraktoren in einem Zeitfenster präsentiert, das spätestens 800 ms vor der Darbietung des lokalen Hinweisreizes endete. Die Zielbewegung wurde gleichzeitig mit dem Hinweisreiz (Lag 0) oder mit einem SOA von 200 ms (Lag 2) dargeboten (UV2).

Jede Stimulussequenz dauerte 5000 ms. Der Hinweisreiz konnte zwischen 3000 und 4200 ms nach dem Beginn der Stimulussequenz erscheinen. Es gab Durchgänge ohne Distraktoren, in denen der Hinweisreiz bereits zwischen 1000 und 2000 ms dargeboten wurde. Auf diese Weise sollte kontrolliert werden, dass die Vpn die lokale Sequenz von Beginn an beachten. Diese Durchgänge gingen nicht in die Auswertung ein.

Der Übungsteil umfasste Durchgänge aller Bedingungen in randomisierter Reihenfolge und war von individueller Dauer (ca. 10 Minuten). Nur im Übungsteil gab es zusätzliche

Kontrolldurchgänge, in denen die Zielbewegung 200 ms vor dem Hinweisreiz dargeboten wurde (Lag -2). Auf diese Weise sollten die Vpn lernen, die drei Möglichkeiten der zeitlichen Abfolge von Hinweis- und Zielreiz (vorher, gleichzeitig, nachher) gegeneinander abzugrenzen. Zudem sollten die Vpn im Übungsteil trainiert werden, die Distraktoren nicht als Zielreize zu erkennen.

Die Vpn hatten die Aufgabe, eine kohärente Bewegung des Kinematogramms kurz vor, kurz nach oder simultan mit dem roten Hinweisreiz zu entdecken. Nach jedem Durchgang erfolgte die Eingabe der Vpn, ob der Zielreiz simultan mit dem Hinweisreiz (Taste oben), vor dem Hinweisreiz (Taste links), nach dem Hinweisreiz (Taste rechts) oder nicht gesehen wurde (Taste unten). Die in allen Bedingungen fehlerhafte Eingabe „Zielreiz vor Hinweisreiz“ stellt die AV in Experiment 1 dar.

3.2.3 Versuchsplan

Die Darbietung von 0 oder 6 Distraktoren in einer Bewegungssequenz entspricht den Stufen des Faktors „Distraktor“. Der zeitliche Abstand von Hinweisreiz und Zielreiz entspricht dem Faktor „Lag“ mit den Stufen 0 und 2.

Die insgesamt vier Bedingungen (je 52 Durchgänge) wurden an allen 12 Vpn untersucht. In Experiment 1 handelte es sich somit um einen 2-faktoriellen (2x2) Versuchsplan mit Messwiederholungen auf beiden Faktoren. Der Versuchsplan ist Tabelle 3.1 zu entnehmen. Zur Erfassung von falschen Alarmen wurde in weiteren 52 Durchgängen kein Zielreiz dargeboten. Zusätzlich wurden 64 Durchgänge mit frühem Hinweisreiz präsentiert. Die Reihenfolge der insgesamt 324 Durchgänge wurde für jede Vp randomisiert.

Tabelle 3.1

Versuchsplan Experiment 1. In Klammern sind die Durchgänge pro Bedingung angegeben.

	Lag 0	Lag 2
Distraktor		
0 Distraktoren	Bedingung 1 (52)	Bedingung 3 (52)
6 Distraktoren	Bedingung 2 (52)	Bedingung 4 (52)

3.2.4 Auswertung

Für alle Bedingungen wurden die Mittelwerte und Standardfehler der relativen Häufigkeiten der vier möglichen Eingaben („Zielreiz vor Hinweisreiz“, „Zielreiz simultan mit Hinweisreiz“, „Zielreiz nach Hinweisreiz“, „kein Zielreiz“) über alle Vpn berechnet. Zur Überprüfung der Hypothese wurde der Effekt der Faktoren „Distraktor“ und „Lag“ auf die fehlerhafte zeitliche Zuordnung „Zielreiz vor Hinweisreiz“ mit Hilfe einer 2-faktoriellen ANOVA mit Messwiederholungen untersucht.

3.3 Ergebnisse

Der Mittelwert für falsche Alarmer über 12 Vpn beträgt 3.90% ($SD = 13.87\%$). Aufgrund des Ausschlusskriteriums wurde eine Vp mit einer Quote für falsche Alarmer von 84.60% ausgeschlossen. Der korrigierte Mittelwert für falsche Alarmer über 11 Vpn beträgt 1.69% ($SD = 3.25\%$).

In Tabelle 3.2 sind die Mittelwerte der relativen Häufigkeiten der vier möglichen Eingaben in allen Bedingungen des Versuchsplans über 11 Vpn mit Standardfehlern dargestellt. Eine graphische Darstellung der Ergebnisse findet sich in Abbildung 3.2.

Tabelle 3.2

Relative Häufigkeiten (%) der Eingaben „Zielreiz vor Hinweisreiz“ ($Z < H$), „Zielreiz simultan mit Hinweisreiz“ ($Z = H$), „Zielreiz nach Hinweisreiz“ ($Z > H$) und „kein Zielreiz“ (kein Z). Mittelwerte über 11 Vpn mit Standardfehlern.

	Lag 0	Lag 2
Distraktor		
0 Distraktoren	Z<H: 12.93 (2.80)	Z<H: 03.47 (1.29)
	Z=H: 68.02 (5.71)	Z=H: 18.55 (3.87)
	Z>H: 15.03 (3.70)	Z>H: 75.17 (3.84)
	kein Z: 04.00 (1.92)	kein Z: 02.79 (1.73)
6 Distraktoren	Z<H: 10.49 (2.16)	Z<H: 03.49 (1.94)
	Z=H: 55.25 (5.02)	Z=H: 18.35 (4.60)
	Z>H: 15.01 (3.30)	Z>H: 68.16 (5.53)
	kein Z: 19.24 (4.21)	kein Z: 09.96 (3.08)

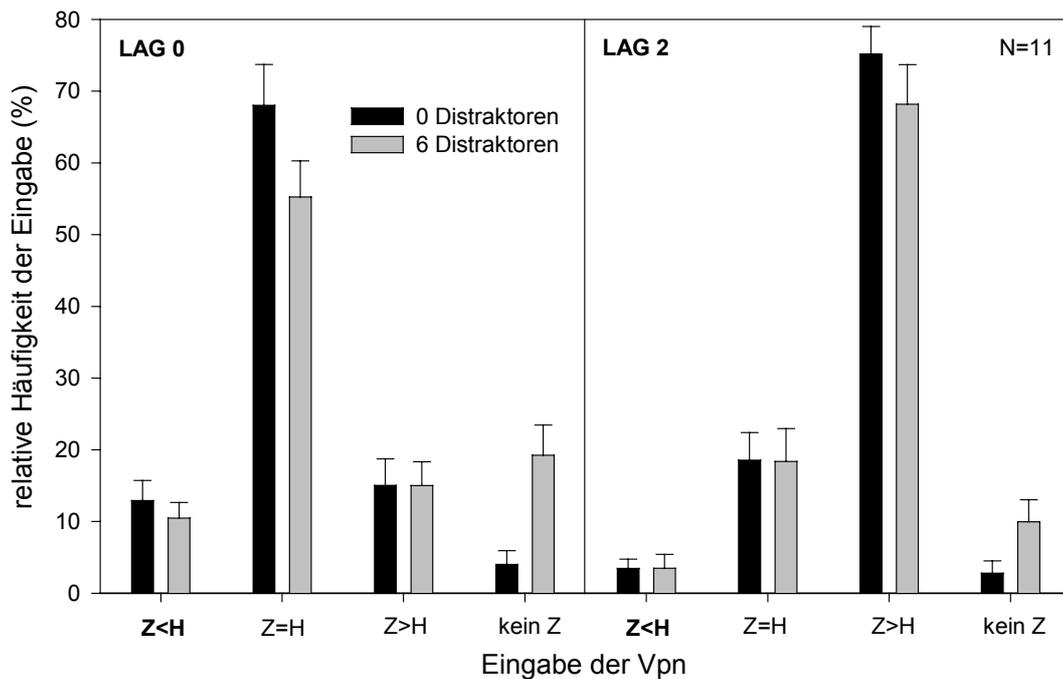


Abbildung 3.2 Relative Häufigkeiten (%) der Eingaben „Zielreiz vor Hinweisreiz“ (Z<H), „Zielreiz simultan mit Hinweisreiz“ (Z=H), „Zielreiz nach Hinweisreiz“ (Z>H) und „Zielreiz nicht gesehen“ (kein Z). Mittelwerte über 11 Vpn mit Standardfehlern für alle Bedingungen des Versuchsplans.

Abbildung 3.2 ist zu entnehmen, dass sowohl für Lag 0 als auch für Lag 2 die korrekte zeitliche Zuordnung („Zielreiz simultan mit Hinweisreiz“ bzw. „Zielreiz nach Hinweisreiz“) am häufigsten erfolgt (61.64%, 71.67%). Für beide Lags zeigt sich eine Abhängigkeit der korrekten Eingabe davon, ob keine oder sechs Distraktoren dargeboten wurden (Lag 0: 68.02%, 55.25%; Lag 2: 75.17%, 68.16%). Die Eingabe „kein Zielreiz“ erfolgt für beide Lags häufiger, wenn sechs Distraktoren dargeboten wurden (Lag 0: 4.00%, 19.24%; Lag 2: 2.79%, 9.96%).

Die für die Fragestellung des Experiments relevante Eingabe „Zielreiz vor Hinweisreiz“ (Z<H) zeigt sich häufiger für Lag 0 als für Lag 2 (11.71%, 3.48%). Eine geringe Abnahme dieser zeitlichen Zuordnung ergibt sich für Lag 0, wenn sechs Distraktoren dargeboten wurden (12.93%, 10.49%).

Entsprechend bestätigt die ANOVA für die Eingabe „Zielreiz vor Hinweisreiz“ (Z<H) allein einen signifikanten Haupteffekt „Lag“ ($F(1,10) = 43.22, p < .001, \eta^2 = .81^*$). Weder der Haupteffekt „Distraktor“ ($F(1,10) = 2.02, ns, \eta^2 = .17$) noch die Interaktion „Lag x Distraktor“ ($F(1,10) = 1.98, ns, \eta^2 = .17$) wird signifikant.

* In der vorliegenden Arbeit handelt es sich bei der Angabe von Eta-Quadrat (η^2) zur Abschätzung der Effektstärke immer um das partielle Eta-Quadrat (siehe Levine & Hullett, 2002).

3.4 Diskussion

Die Ergebnisse von Experiment 1 belegen, dass die Vpn die korrekte zeitliche Abfolge von Hinweisreiz und Zielreiz in allen untersuchten Bedingungen relativ sicher erfassen. Sowohl bei der simultanen Darbietung als auch bei der Darbietung des Zielreizes nach dem Hinweisreiz erfolgt die entsprechende korrekte Eingabe - bei einer sehr geringen Rate falscher Alarme - am häufigsten (>50% in allen Bedingungen). Die ausgeprägten zeitlichen Fehleinschätzungen, die in den Studien zur perzeptuellen Asynchronität unter Verwendung unterschiedlicher Paradigmen berichtet werden (Moutoussis & Zeki, 1997a, 1997b; Nishida & Johnston, 2002), finden sich somit im vorliegenden Experiment nicht.

Ein Anteil der erfolgten Eingaben von ca. 33% ist jedoch fehlerhaft. So wird bei der simultanen Darbietung der Zielreiz mit einer mittleren Häufigkeit von ca. 10% als „Zielreiz vor dem Hinweisreiz“ erkannt. Im ursprünglichen Motion Blindness Paradigma würden Durchgänge dieser Art zum Prozentsatz der Verpasser beitragen, da die Vpn den Zielreiz entsprechend der Instruktion als Distraktor klassifizieren würden. Gegen eine Interpretation dieser Fehler als die Folge einer perzeptuellen Asynchronität („Bewegung vor Farbe“) spricht, dass mit einer vergleichbarer Häufigkeit von ca. 15% die gegensätzliche Eingabe „Zielreiz nach Hinweisreiz“ erfolgt. Somit sind die fehlerhaften Eingaben bei der simultanen Darbietung eher als Folge einer normalen Streuung aufgrund einer Unsicherheit der Vpn zu interpretieren.

Die durchgeführte Statistik spricht gegen die Annahme, dass eine perzeptuelle Asynchronität („Bewegung vor Farbe“) am Motion Blindness Effekt beteiligt ist. An beiden Lags wird die Eingabe „Zielreiz vor Hinweisreiz“ nicht signifikant durch die Darbietung von Distraktoren moduliert. Die Modulation durch Distraktoren an frühen Lags ist jedoch ein zentrales Merkmal der Motion Blindness (Sahraie et al., 2001). Es ist denkbar, dass eine Ursache für die nicht signifikante Interaktion „Lag x Distraktor“ die geringe Teststärke der durchgeführten ANOVA ist (Cohen, 1988). Doch widerspricht auch die Richtung der geringen Modulation an Lag 0 den Ergebnissen zur Motion Blindness. In Experiment 1 erfolgt die relevante Eingabe „Zielreiz vor Hinweisreiz“ für Lag 0 tatsächlich seltener, wenn sechs Distraktoren dargeboten werden.

Eine Diskussion der vorliegenden Ergebnisse im Hinblick auf die Befunde und Theorien zur perzeptuellen Asynchronität (Bedell et al., 2003; Nishida & Johnston, 2002; Zeki, 2003) kann hier nicht geführt werden. Dafür unterscheidet sich das vorliegende Paradigma zu sehr von den verwendeten Versuchsanordnungen der genannten Arbeiten. Das Nullergebnis bezüglich der Asynchronität von Farbe und Bewegung lässt sich auf diese Unterschiede zurückführen, die in der Einleitung von Experiment 1 beschrieben sind.

3.5 Zusammenfassung

Die Ergebnisse von Experiment 1 zeigen, dass die von Moutoussis & Zeki (1997a) berichtete perzeptuelle Asynchronität von Farbe und Bewegung nicht am Effekt der Motion Blindness beteiligt ist. Die beobachteten Fehler der zeitlichen Zuordnung lassen sich vielmehr auf eine normale Streuung der Eingaben zurückführen.

4 Experiment 2

Welchen Einfluss haben die Anzahl und die zeitliche Position von Distraktoren auf den Motion Blindness Effekt?

4.1 Einleitung

In Experiment 2 sollte der Einfluss der Distraktoren auf den Motion Blindness Effekt genauer untersucht werden. Über die grundlegenden Ergebnisse der Studie von Sahraie et al. (2001) hinaus stellte sich die Frage, welchen Einfluss die Anzahl und die zeitliche Position der Distraktoren haben. Der Hintergrund für diese Fragestellung wird im folgenden dargestellt.

4.1.1 Distraktoren in Paradigmen der visuellen selektiven Aufmerksamkeit

Der Einfluss von Distraktoren auf das Verhalten ist in verschiedenen Paradigmen der visuellen selektiven Aufmerksamkeit eingehend untersucht worden. Bei der visuell-räumlichen Suche nach einem Zielreiz auf einem Suchbildschirm findet sich ein nahezu linearer Anstieg der Reaktionszeit mit Zunahme der Distraktorreize, wenn der Zielreiz den Distraktoren ähnlich ist (Duncan & Humphreys, 1989; Treisman & Gelade, 1980). Im *flanker task* sind verschiedene visuelle Reize mit unterschiedlichen Reaktionstasten verknüpft (Eriksen & Eriksen, 1974; Übersicht bei Eriksen, 1995). Der zentral dargebotene Reiz definiert dabei den Zielreiz, während die umgebenden Reize die Distraktoren definieren. Bei der Reaktion auf einen Zielreiz, der umgeben ist von Distraktoren mit inkongruenten Reaktionsverknüpfungen, findet sich ein Anstieg der Reaktionszeit, je näher die Distraktoren am Zielreiz dargeboten werden (Eriksen & Eriksen, 1974). Beim Negative Priming Effekt (Dalrymple-Alford & Budayr, 1966; Tipper, 1985; Übersicht bei May, Kane & Hasher, 1995) werden zwei Reizmuster nacheinander dargeboten. In beiden Mustern findet sich ein Zielreiz, auf den reagiert wird, und ein Distraktor, der nicht beachtet werden soll. Enthält nun das zweite Reizmuster (*Probedisplay*) als Zielreiz den Distraktor aus dem ersten Muster (*Primedisplay*), so ist die Reaktionszeit auf diesen Zielreiz verlangsamt. Der Effekt ist sehr robust und findet sich für eine Vielzahl von Aufgaben (Benennen, lexikalische Entscheidungen, Abgleichen, Kategorisierung, Lokalisation) und Stimuli (Objekte, Buchstaben, Wörter, Formen). Es konnte nachgewiesen werden, dass der Negative Priming Effekt geringer ausgeprägt für längere Intervalle zwischen der Reaktion auf den *Prime*-Stimulus und der Darbietung des *Probe*-Stimulus (Neill & Westberry, 1987).

Zusammenfassend zeigt sich in den aufgeführten Paradigmen sowohl ein Einfluss der Anzahl als auch der zeitlichen Position von Distraktoren auf das Verhalten der Probanden. Gemessen wird das Verhalten in Untersuchungen zur visuellen Aufmerksamkeit in der Regel als Reaktionszeit oder Identifikationsleistung.

4.1.2 Distraktoren im Motion Blindness Paradigma

Sahraie et al. (2001) beschreiben zwei experimentelle Befunde zum Einfluss von Distraktoren im Motion Blindness Paradigma. Erstens wird berichtet, dass es ohne Distraktoren nicht zur Motion Blindness kommt (Experiment 4). Sowohl die Detektion der Zielbewegung als auch die Richtungsdiskrimination zeigen in dieser Bedingung unabhängig vom Lag einen Deckeneffekt. Dieser Befund spricht dafür, dass die Darbietung von Distraktoren eine Voraussetzung für den Motion Blindness Effekt darstellt. Problematisch an dem verwendeten dichotomen Design („keine versus viele Distraktoren“) erscheint die Tatsache, dass in Durchgängen ohne Distraktoren der Zielreiz die einzige kohärente Bewegung in der globalen Sequenz darstellt. Aus diesem Grund ist es denkbar, dass in Durchgängen ohne Distraktoren die Zielbewegung anders verarbeitet wird als in Durchgängen mit Distraktoren, etwa im Sinne eines plötzlich auftretenden, peripheren Hinweisreizes (Posner, 1980). Mit Hilfe einer faktoriellen Abstufung der Distraktoranzahl hingegen könnte der Effekt der Distraktoren genauer beschrieben werden.

Zweitens variierten Sahraie et al. (2001) das Zeitfenster, in dem Distraktoren dargeboten wurden. In Experiment 1 ihrer Studie endet das Zeitfenster 100 ms vor der Darbietung des Hinweisreizes, in Experiment 2 endet es 300 ms vor dem Hinweisreiz. Die Autoren wollten untersuchen, ob die letzte Distraktorbewegung - abhängig vom Zeitpunkt ihrer Darbietung - die Sichtbarkeit der Zielbewegung im Sinne einer Vorwärtsmaskierung herabsetzt (Breitmeyer, 1984). Das nicht signifikante Ergebnis der durchgeführten Statistik wurde als ein Argument gegen die Annahme eines Maskierungseffekts diskutiert. Getestet wurde über alle Lags mit Hilfe einer messwiederholten ANOVA, wobei die nicht signifikante Interaktion „Zeitfenster x Hinweisreiz-Zielreiz-Lag“ interpretiert wurde. Der maximale Motion Blindness Effekt ergibt sich jedoch an frühen Lags. Zudem erfolgte kein Hinweis auf die möglicherweise geringe Teststärke (beide Experimente: N=5). Eine Manipulation des Zeitfensters für Distraktoren ist allerdings nicht allein im Hinblick auf eine Kontrolle von Maskierungseffekten interessant. Mit Hilfe von unterschiedlichen Distraktor-Zeitfenstern, die

sich außerhalb des Bereichs für mögliche Maskierungseffekte befinden, ließe sich ähnlich wie in Studien zum Negative Priming Effekt die „Wirkungsdauer“ von Distraktoren überprüfen.

4.1.3 Fragestellung und Hypothesen

Sahraie et al. (2001) formulierten auf der Grundlage ihrer psychophysischen Befunde ein Erklärungsmodell der Motion Blindness (siehe Diskussion für eine detaillierte Darstellung). Dieses Modell sieht vor, dass es aufgrund der Darbietung von Distraktoren zum Aufbau einer Inhibition kommt. Da kohärente Bewegungen bis zur Darbietung des Hinweisreizes eine irrelevante Information darstellen, werden diese aktiv unterdrückt. Mit Beginn des Hinweisreizes beginnt eine verzögerte Lösung der Inhibition, da kohärente Bewegungen nun als Zielreize gelten. An frühen Lags ergibt sich als Folge der Inhibition eine verminderte Detektion der Zielbewegungen. An späteren Lags hingegen hat sich die Inhibition vollständig gelöst, so dass es zu einer unverminderten Detektionsleistung kommt.

Die Frage nach dem Einfluss der Anzahl und der zeitlichen Position von Distraktoren klärt das beschriebene Erklärungsmodell jedoch nicht. Wenn es sich tatsächlich um den Aufbau einer Inhibition aufgrund von Distraktoren handelt, dann sollte sich mit zunehmender Distraktoranzahl eine Abnahme der Detektionsleistung zeigen. Die zeitliche Position von Distraktoren kann weiterhin darüber Auskunft geben, über welchen Zeitraum die Inhibition wirkt. Wenn Distraktoren nur für einen begrenzten Zeitraum wirken, dann sollte sich bei einem größeren zeitlichen Abstand zwischen den Distraktoren und dem Zielreiz eine bessere Detektionsleistung ergeben. Beide Hypothesen beziehen sich allein auf den Zeitpunkt der maximalen Ausprägung der Motion Blindness, d.h. Lag 0.

4.2 Methode

4.2.1 Stichprobenbeschreibung

Die Daten wurden an 21 gesunden Vpn ermittelt. Davon gingen 16 Vpn (12 weiblich) in die Auswertung ein. Der Altersdurchschnitt dieser Vpn betrug 23.63 Jahre (19 – 33 Jahre).

4.2.2 Stimulus, Aufgabe der Vpn und Operationalisierung der Variablen

Die grundlegenden Stimulusparameter finden sich im allgemeinen Methodenteil. In Experiment 2 gab es globale Sequenzen, in denen 3 oder 6 Distraktoren dargeboten wurden (UV1). Dabei betrug die Länge des Zeitfensters für 3 Distraktoren ca. 700 ms und für 6 Distraktoren ca. 1300 ms. Auf diese Weise traten die Distraktoren innerhalb eines Zeitfensters mit vergleichbarer Häufigkeit auf. Die zeitliche Anordnung und Bewegungsrichtung der Distraktoren in den Zeitfenstern wurde dabei quasi-randomisiert bestimmt, d.h. entsprechend einer Anzahl von festen Verteilungsregeln, die zufällig ausgewählt wurden. Das Intervall zwischen dem Ende eines Distraktor-Zeitfensters und der Darbietung des Hinweisreizes konnte 600 ms (± 100 ms) oder 2000 ms (± 100 ms) betragen (UV2). Es handelte sich somit um ein „frühes“ und ein „spätes“ Distraktor-Zeitfenster. In Abbildung 4.1 sind die beiden Zeitfenster schematisch dargestellt.

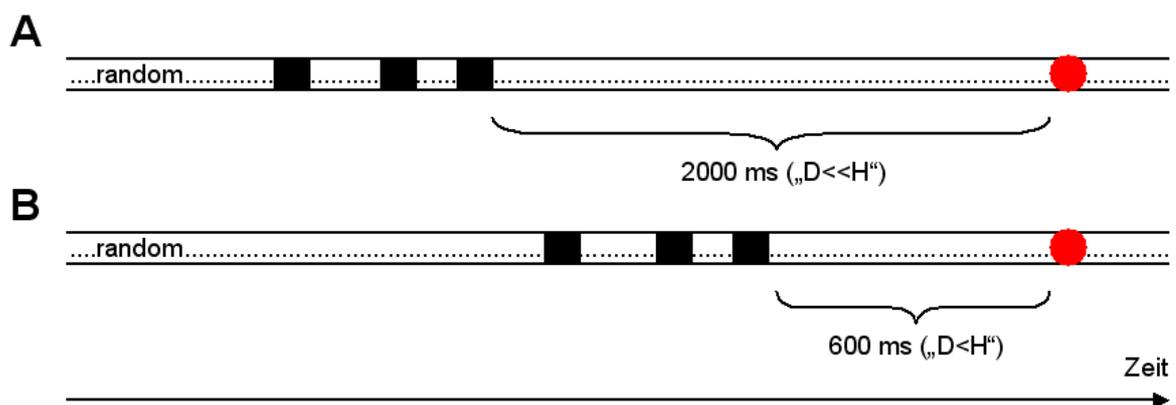


Abbildung 4.1 Die Positionen von Distraktoren in Experiment 2. Das frühe Zeitfenster (A) endete 2000 ms vor der Darbietung des Hinweisreizes („D<<H“). Das späte Zeitfenster (B) endete 600 ms vor der Darbietung des Hinweisreizes („D<H“).

Die Zielbewegung wurde gleichzeitig mit dem Hinweisreiz (Lag 0) oder mit einem SOA von 400 ms (Lag 4) dargeboten (UV3). Da sich die Fragestellung auf Lag 0 bezieht, handelt es sich bei der Darbietung des Zielreizes an Lag 4 um eine Kontrollbedingung zur Überprüfung der Erholung der Motion Blindness.

Jede Stimulussequenz dauerte 5500 ms. Der Hinweisreiz wurde zwischen 3200 und 4400 ms nach dem Beginn der Stimulussequenz präsentiert. Es gab Durchgänge ohne Distraktoren, in denen der Hinweisreiz bereits zwischen 1000 und 2000 ms dargeboten wurde. Auf diese Weise sollte kontrolliert werden, dass die Vpn die lokale Sequenz von Beginn an beachten. Diese Durchgänge gingen nicht in die Auswertung ein.

Die Vpn hatten in jedem Durchgang die Aufgabe, die Zielbewegung zu entdecken (AV) und die Richtung der Bewegung zu diskriminieren. Der Übungsteil umfasste Durchgänge aller Bedingungen in randomisierter Reihenfolge und war von individueller Dauer (ca. 10 Minuten).

4.2.3 Versuchsplan

Die Darbietung von 3 oder 6 Distraktoren in einer Bewegungssequenz entspricht den Stufen des Faktors „Anzahl“. Die Position des Distraktor-Zeitfensters - gemessen als Intervall zwischen Ende des Zeitfensters und der Darbietung des Hinweisreizes - entspricht dem Faktor „Position“ mit den Stufen 600 und 2000 ms. Das Zeitintervall zwischen Hinweisreiz und Zielreiz entspricht dem Faktor „Lag“ mit den Stufen 0 und 4, wobei die Stufe 4 als Kontrollbedingung untersucht wurde.

Die insgesamt acht Bedingungen (je 20 Durchgänge) wurden an allen 21 Vpn untersucht. In Experiment 2 handelte es sich somit um einen 3-faktoriellen (2x2x2) Versuchsplan mit Messwiederholungen auf allen Faktoren. Der Versuchsplan ist Tabelle 4.1 zu entnehmen.

Tabelle 4.1

Versuchsplan Experiment 2. In Klammern sind die Durchgänge pro Bedingung angegeben.

Anzahl	Lag 0		Lag 4 (Kontrolle)	
	Position		Position	
	600 ms	2000 ms	600 ms	2000 ms
3 Distraktoren	Bed. 1 (20)	Bed. 2 (20)	Bed. 5 (20)	Bed. 6 (20)
6 Distraktoren	Bed. 3 (20)	Bed. 4 (20)	Bed. 7 (20)	Bed. 8 (20)

Zur Erfassung von falschen Alarmen wurde in weiteren vier Bedingungen mit Distraktoren (Variation „Anzahl“ und „Position“) sowie in einer Bedingung ohne Distraktoren kein Zielreiz dargeboten (je 20 Durchgänge). Um den Effekt des Lags auf die Detektionsleistung in Durchgängen ohne Distraktoren zu untersuchen, gab es weitere 2 Bedingungen ohne Distraktoren (Lag 0, Lag 4). Zusätzlich wurden 40 Durchgänge mit frühem Hinweisreiz präsentiert. Die Reihenfolge der insgesamt 340 Durchgänge wurde für jede Vp randomisiert.

4.2.4 Auswertung

Für alle Bedingungen wurden die Mittelwerte und Standardfehler der relativen Häufigkeiten der Zielreiz-Detektion über alle Vpn berechnet. Zusätzlich wurden die relativen Häufigkeiten der falschen Alarme ermittelt. Zur Überprüfung der Hypothesen wurden die Effekte der Faktoren „Anzahl“ und „Position“ auf die Detektionsleistung für Zielreize an Lag 0 mit Hilfe einer 2-faktoriellen ANOVA mit Messwiederholungen untersucht. Zusätzlich wurde mit einem zweiseitigen, paarigen t-Test untersucht, ob in Durchgängen ohne Distraktoren das Lag einen Einfluss auf die Detektionsleistung hat („Lageeffekt“: Lag 0 versus Lag 4).

4.3 Ergebnisse

Der Mittelwert für falsche Alarme – gemittelt über die fünf Bedingungen ohne Zielreiz – über 21 Vpn beträgt 4.40% ($SD = 8.32\%$). Aufgrund des Ausschlusskriteriums wurden drei Vpn mit Quoten für falsche Alarme von 13.00%, 14.00% und 15.00% ausgeschlossen. In Experiment 2 wurde ein weiteres Ausschlusskriterium eingeführt: Vpn wurden von der Auswertung ausgeschlossen, wenn sie einen Deckeneffekt der Detektionsleistung zeigten. Als Deckeneffekt galt eine Detektion des Zielreizes in mehr als 95% der Fälle in allen acht Bedingungen des Versuchsplans. Dieses Kriterium traf für zwei weitere Vpn zu. Der korrigierte Mittelwert für falsche Alarme über 16 Vpn beträgt 2.64% ($SD = 4.60\%$). Dabei betragen die Unterschiede zwischen den Bedingungen ohne Zielreiz weniger als 5% und werden im folgenden nicht diskutiert.

In Tabelle 4.2 sind die Mittelwerte der Detektionsleistung in allen acht Bedingungen des Versuchsplans über 16 Vpn mit Standardfehlern dargestellt. In Abbildung 4.2 findet sich eine graphische Darstellung der Ergebnisse.

Tabelle 4.2

Mittelwerte der Detektion des Zielreizes (%) über 16 Vpn mit Standardfehlern.

Anzahl	Lag 0		Lag 4 (Kontrolle)	
	Position		Position	
	600 ms	2000 ms	600 ms	2000 ms
3 Distraktoren	62.99 (6.66)	82.19 (4.79)	97.19 (1.29)	96.88 (1.76)
6 Distraktoren	53.44 (6.67)	77.19 (5.12)	96.56 (1.69)	97.50 (1.88)

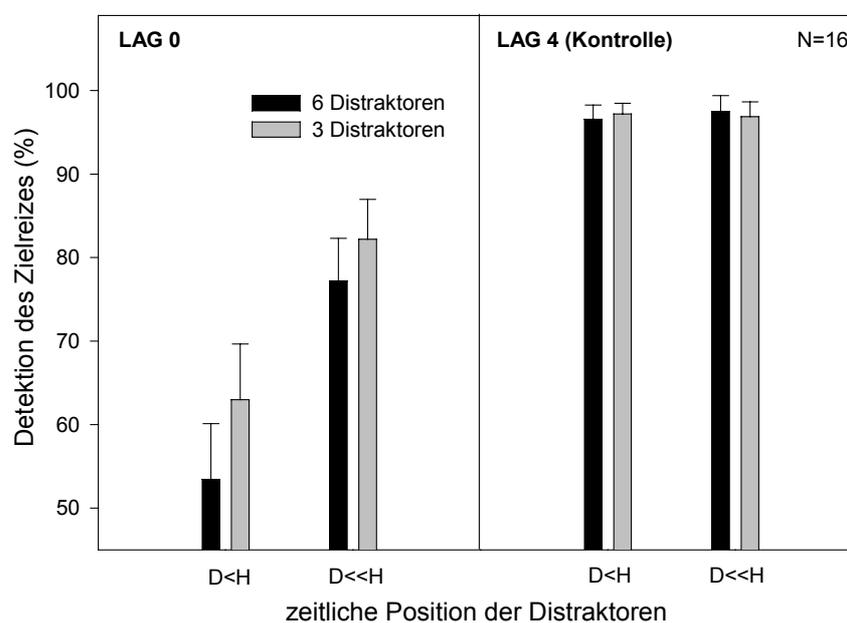


Abbildung 4.2 Detektion des Zielreizes (%) in allen Bedingungen des Versuchsplans. „D<<H“ kennzeichnet das frühe Distraktor-Zeitfenster, das 2000 ms vor Darbietung des Hinweisreizes endet. „D<H“ kennzeichnet das späte Zeitfenster, das 600 ms vor dem Hinweisreiz endet. Mittelwerte über 16 Vpn mit Standardfehlern.

Abbildung 4.2 ist zu entnehmen, dass sich bei der simultanen Darbietung von Hinweisreiz und Zielreiz (Lag 0) eine Abstufung der Detektionsleistung abhängig von der Position der Distraktoren ergibt: Zielreize nach Distraktoren im späten Zeitfenster werden seltener detektiert als Zielreize nach Distraktoren im frühen Zeitfenster (58.22%, 79.69%). Zugleich zeigt sich eine Abstufung abhängig von der Distraktoranzahl. Bei der Darbietung von 6 Distraktoren wird der Zielreiz seltener detektiert als bei der Darbietung von 3 Distraktoren (65.32%, 72.59%). Ihr Minimum erreicht die Detektionsleistung bei der Darbietung von 6 Distraktoren im späten Zeitfenster (53.44%). Die ANOVA bestätigt signifikante Haupteffekte für die Faktoren „Position“ und „Anzahl“ („Position“: $F(1,15) = 36.42, p < .001, \eta^2 = .71$; „Anzahl“: $F(1,15) = 8.61, p < .010, \eta^2 = .37$). Die Interaktion „Position x Anzahl“ wird nicht signifikant ($F(1,15) = 0.88, ns, \eta^2 = .06$).

Bei der Darbietung des Zielreizes 400 ms nach dem Hinweisreiz (Lag 4) kommt es hingegen nicht zu einer verringerten Detektionsleistung. Die Detektion liegt hier für jede Anzahl und Position der Distraktoren bei >96%.

Weiterhin zeigt die deskriptive Statistik in Durchgängen ohne Distraktoren einen Einfluss des Lags auf die Detektionsleistung (Lag 0: 90.94%; Lag 4: 98.13%). Dieser Unterschied ist signifikant (zweiseitiger, paariger t-Test: $T(15) = 2.79$, $p = .015$, $\eta^2 = .34$).

4.4 Diskussion

Die Ergebnisse von Experiment 2 bestätigen die Merkmale des Motion Blindness Effekts. In Übereinstimmung mit Sahraie et al. (2001) zeigt sich die Detektionsleistung für die Zielbewegung stark vermindert bei der simultanen Darbietung mit dem Hinweisreiz (Lag 0) unter der Voraussetzung, dass Distraktorbewegungen in der globalen Sequenz dargeboten werden. Bei der Darbietung des Zielreizes nach dem Hinweisreiz (Lag 4) erfolgt die Detektion der Zielbewegung hingegen nahezu fehlerlos. An beiden Lags zeigt sich keine Motion Blindness, wenn keine Distraktoren dargeboten werden. Diese Befunde sind vereinbar mit dem von Sahraie et al. (2001) formulierten Erklärungsmodell zur Motion Blindness, das im folgenden erläutert und diskutiert werden soll.

4.4.1 Erklärungsmodell zur Motion Blindness von Sahraie et al. (2001)

In Abbildung 4.3 findet sich eine graphische Darstellung des Erklärungsmodells von Sahraie et al. (2001).

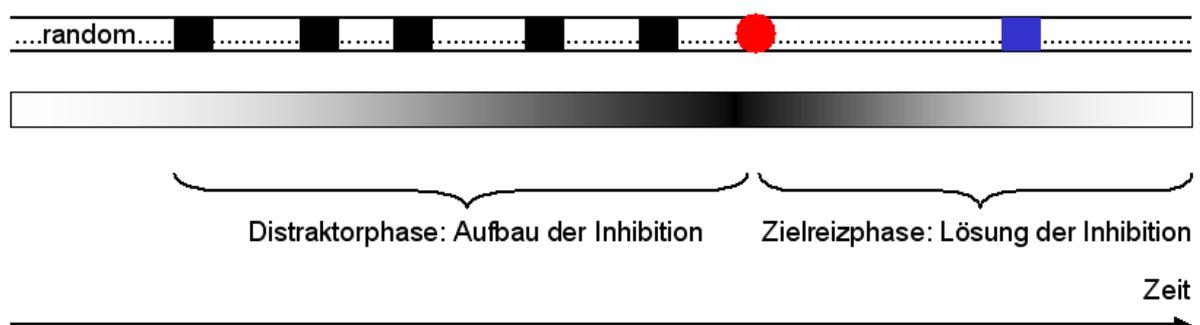


Abbildung 4.3 Erklärungsmodell von Sahraie et al. (2001). Die Distraktoren (schwarze Rechtecke) vor der Darbietung des Hinweisreizes (roter Kreis) werden inhibiert. Die Inhibition löst sich mit zeitlicher Verzögerung ab der Darbietung des Hinweisreizes. Die Graustufen der Abbildung stellen die unterschiedlichen Ausprägungen der Inhibition dar (grau: schwach; schwarz: stark).

Sahraie et al. (2001) gehen davon aus, dass kohärente Bewegungen des Zufallspunkt-Kinematogramms im Zeitraum bis zur Darbietung des Hinweisreizes inhibiert werden, da sie laut Instruktion als Distraktorreize irrelevant sind. Mit der Darbietung des Hinweisreizes muss sich diese Inhibition lösen, da kohärente Bewegungen nun als Zielreize gelten. Die Lösung der Inhibition vollzieht sich dabei mit einer zeitlichen Verzögerung, über einen Zeitraum von ca. 400 ms. Das Modell sieht vor, dass ein Zielreiz mit geringerer Wahrscheinlichkeit detektiert wird, je stärker die Inhibition zum Zeitpunkt seiner Darbietung ausgeprägt ist. Die beobachtete Erholung der Motion Blindness über die Lags kann das Modell somit erklären.

Auf den ersten Blick erinnert das Erklärungsmodell von Sahraie et al. (2001) an das Distraktor-Inhibitionsmodell des Negativen Priming Effekts (Tipper, 1985; Tipper, Weaver, Cameron, Brehaut & Bastedo, 1991). Ausdrücklich weisen Sahraie et al. (2001) in ihrer Arbeit auf die Studie von Tipper et al. (1991) hin. Beide Modelle postulieren einen Inhibitionsprozess, der dazu führt, dass eine relevante Information (Zielreiz) ineffizienter verarbeitet wird, wenn sie bei einer vorhergehenden Darbietung die irrelevante Information (Distraktor) darstellte. Im Unterschied zu Sahraie et al. (2001) unternehmen Tipper et al. (1991) aufgrund weiterer Befunde den Versuch, die Verarbeitungsstufe einzugrenzen, auf der die Inhibition wirksam wird: „The [inhibitory] mechanism thus appears to be located at a stage between early visual analysis and overt motor response“ (Seite 681).

Sowohl die Unterschiedlichkeit der Paradigmen als auch die experimentellen Ergebnisse zum zeitlichen Verlauf der Inhibitionslösung lassen jedoch an dieser Stelle nicht die Schlussfolgerung zu, dass es sich bei den von Sahraie et al. (2001) und Tipper et al. (1991) postulierten Inhibitionsprozessen um vergleichbare Prozesse handelt. So werden beim Negativen Priming im Gegensatz zum Motion Blindness Paradigma in zwei aufeinanderfolgenden Reizmustern (*Primedisplay* und *Probedisplay*) ein Zielreiz und ein Distraktor gleichzeitig dargeboten. In beiden Durchgängen ist eine möglichst korrekte und schnelle Reaktion auf den Zielreiz erforderlich. Im Motion Blindness Paradigma hingegen zeigt ein lokaler Hinweisreiz an, ab wann eine Bewegung in der globalen Sequenz als Zielreiz gilt*. Zudem erfolgt die Reaktion hier erst am Ende der Stimulussequenz ohne eine Erfassung

* Interessant erscheint hier die mögliche Differenzierung der Begriffe „irrelevant“ und „unbeachtet“, auf die Stablum, Ricci, Pavese und Umiltà (2001) hinweisen. Der Begriff „irrelevant“ hebt hervor, dass eine bestimmte Information für die effiziente Bearbeitung einer Aufgabe eher hinderlich ist. „Unbeachtet“ hingegen betont den Umstand, dass die Probanden einer bestimmten Information keine Aufmerksamkeit zuweisen. Aufgrund einer solchen Differenzierung handelt es sich bei den Distraktoren im Negative Priming Paradigma eher um irrelevante Reize, im Motion Blindness Paradigma hingegen eher um unbeachtete Reize.

der Reaktionszeit. Aufgrund der beiden genannten Punkte (Darbietung, Reaktion) ist davon auszugehen, dass es nur im Paradigma des Negativen Priming zu einer ausgeprägten Interferenz zwischen Distraktor- und Zielreizverarbeitung kommt (Stroop, 1935). In den ersten Studien zum Effekt des Negativen Priming wird die Funktion der postulierten Inhibition in der Tat als die Verringerung des Distraktor-Zielreiz-Konflikts in Stroop-ähnlichen Aufgaben beschrieben (Dalrymple-Alford & Budayr, 1966; Neill, 1977). Weiterhin belegen die Befunde zum zeitlichen Verlauf der Inhibition zwar für beide Paradigmen einen Abbau der Inhibition über die Zeit, für das Negative Priming ergibt sich jedoch eine erheblich längere Wirkungsdauer der Inhibition. Während der Motion Blindness Effekt nach ca. 400 ms nicht mehr nachzuweisen ist, zeigen sich beim Negativen Priming verlangsamte Reaktionszeiten im *Probedisplay* auch bis zu 4 Sekunden nach der Reaktion auf den *Prime*-Stimulus und darüber hinaus (Neill, Valdes, Terry & Gorfein, 1992; Tipper et al., 1991). Der von Sahraie et al. (2001) berichtete Zeitverlauf der Inhibitionslösung ist allerdings vereinbar mit Studien, in denen nachgewiesen wird, dass Prozesse der visuellen selektiven Aufmerksamkeit über Zeiträume im Bereich von mehreren hundert Millisekunden arbeiten (Duncan et al., 1996; Raymond et al., 1992; Tsal, 1983).

4.4.2 Kritik und Erweiterung des Erklärungsmodells von Sahraie et al. (2001)

Das Erklärungsmodell von Sahraie et al. (2001) trifft keine Aussagen über den Effekt der Anzahl und der zeitlichen Position der Distraktoren. Anhand der Befunde des vorliegenden Experiments werden im folgenden entsprechende Ergänzungen des Modells diskutiert.

Zum einen belegen die Ergebnisse von Experiment 2 die Abhängigkeit der Detektionsleistung von der Distraktoranzahl. Mehr Distraktoren führen zu einer ausgeprägteren Motion Blindness. Als Erweiterung des Erklärungsmodells kann angenommen werden, dass ein direkter Zusammenhang zwischen der Anzahl der Distraktoren und der Stärke der postulierten Inhibition besteht. Dabei ist zu beachten, dass eine Verdoppelung der Distraktoranzahl von 3 auf 6 zu einer Abnahme der Detektionsleistung um ca. 8% führt, während der Unterschied zwischen 0 und 3 Distraktoren ca. 30% beträgt. Mit einem linearen Zusammenhang zwischen der Distraktoranzahl und der Inhibitionsstärke ist dieses Ergebnis nicht vereinbar. Denkbar ist, dass sich die Inhibition bereits mit dem ersten Distraktoren aufbaut und mit steigender Distraktoranzahl schnell einen Effekt der Saturation zeigt.

Zum anderen zeigen die Ergebnisse von Experiment 2 einen Einfluss der zeitlichen Position der Distraktoren auf den Motion Blindness Effekt. Für Zielreize an Lag 0 gilt, dass Distraktoren im späten Zeitfenster zu einer ausgeprägteren Verringerung der Detektionsleistung führen als Distraktoren im frühen Zeitfenster. Sahraie et al. (2001) nahmen an, dass erst die Darbietung des Hinweisreizes zur Lösung der aufgebauten Inhibition führt. Der vorliegende Befund spricht gegen diese Annahme. Vielmehr deuten die Ergebnisse darauf hin, dass sich die Inhibition bereits nach der Darbietung des letzten Distraktors zu lösen beginnt. Folglich könnte folgender Zusammenhang gelten: je länger das Zeitintervall zwischen dem letzten Distraktor und dem Zielreiz, desto geringer die Inhibition zum Zeitpunkt der Darbietung des Zielreizes. Über den genauen Zeitverlauf der Inhibitionslösung lassen sich keine Angaben machen, da nur zwei Zeitfenster untersucht wurden. Die Daten belegen allerdings, dass es sich um einen vergleichsweise langsamen Prozess handelt: sechs Distraktoren, die 2000 ms vor dem Zielreiz an Lag 0 dargeboten werden, führen noch zu einer Abnahme der Detektionsleistung um ca. 20%.

Offenbar gilt der beschriebene Zusammenhang nicht für Zielreize an Lag 4. Hier ergibt sich kein Einfluss der zeitlichen Position der Distraktoren auf die Detektionsleistung. Daraus lässt sich einerseits folgern, dass die Länge des Zeitintervalls zwischen dem letzten Distraktor und dem Hinweisreiz, nicht aber dem Zielreiz, für die Inhibitionslösung entscheidend ist. Dies spricht gegen die Annahme, dass sich die langsame Lösung der Inhibition, die mit der Darbietung des letzten Distraktors beginnt, bis zur Darbietung des Zielreizes fortsetzt. Die Daten von Sahraie et al. (2001) zeigen andererseits, dass der Motion Blindness Effekt über 400 ms bis zur fehlerlosen Detektionsleistung abnimmt. Mit der Darbietung des Hinweisreizes wird also möglicherweise die Lösung der Inhibition beschleunigt, da kohärente Bewegungen nun für die Bearbeitung der Aufgabe relevant sind. Denkbar ist ebenfalls, dass der Hinweisreiz einen zweiten, schnelleren Lösungsprozess der Inhibition in Gang setzt. Dieser Prozess führt ca. 400 ms nach der Darbietung des Hinweisreizes zu einer vollständigen Lösung der Inhibition.

Die Ergebnisse von Experiment 2 lassen eine weitere Ergänzung des Erklärungsmodells zu. Sahraie et al. (2001) diskutieren bereits die Möglichkeit, dass der Motion Blindness Effekt darauf zurückgeht, dass zwei Aufgaben von den Vpn bearbeitet werden müssen (engl.: dual-task; Übersicht bei Pashler & Johnston, 1998). Die Vpn bearbeiten hier zunächst eine Aufgabe A (hier: Detektion des roten Hinweisreizes), um dann eine Aufgabe B zu bearbeiten (hier:

Detektion der kohärenten Bewegung). Ein solcher Wechsel der Aufgabe kann „Kosten“ verursachen, die sich typischerweise in verlangsamten Reaktionszeiten in der Bearbeitung von Aufgabe B zeigen (engl.: task-switch; Übersicht bei Monsell, 2003). Sahraie et al. (2001) kommen zu der Schlussfolgerung, dass sich der Motion Blindness Effekt nicht auf die Kosten eines Aufgabenwechsels zurückführen lässt, da sich der Effekt nur in Anwesenheit von Distraktoren zeigt. In der Tat belegen die Daten von Sahraie et al. (2001) in Durchgängen ohne Distraktoren nur eine äußerst geringe Minderung der Detektionsleistung an frühen Lags. Allerdings ergibt sich an frühen Lags eine deutlich größere Varianz der Detektionsleistung als an späten Lags. Die Ergebnisse von Experiment 2 der vorliegenden Arbeit zeigen nun eine signifikante Minderung der Detektionsleistung an Lag 0 um ca. 7% im Vergleich mit der Detektionsleistung an Lag 4. Dieser „Effekt des Lags“ zeigt sich in Durchgängen ohne Distraktoren und ist somit nicht durch die postulierte Inhibition zu erklären. Vereinbar ist der Effekt mit den beschriebenen Kosten eines Aufgabenwechsels, die hier zu einer Abnahme der Detektionswahrscheinlichkeit des Zielreizes führen.

Die Minderung der Detektionsleistung an frühen Lags kann jedoch auch im Sinne eines variablen Fokus der visuellen Aufmerksamkeit interpretiert werden, der sich für die Bearbeitung der Aufgabe von einer lokalen (Farbwechsel) auf eine globale Ausrichtung (Bewegung) ändern muss (Posner, 1980; Eriksen & Yeh, 1985). Unterschiedliche Modelle gehen davon aus, dass die Verarbeitung innerhalb des Aufmerksamkeitsfokus effektiver ist als ausserhalb, und dass die Ausrichtung des Fokus Zeit benötigt (Tsal, 1983; Übersicht bei Yantis, 1998). Wird also im Motion Blindness Paradigma der Zielreiz gleichzeitig mit dem Hinweisreiz präsentiert (Lag 0), so befindet sich die globale Zielbewegung des Kinematogramms ausserhalb des lokalen Aufmerksamkeitsfokus und wird mit einer geringeren Wahrscheinlichkeit detektiert. Nach der vollständigen Ausrichtung des Fokus auf die globale Sequenz (nach ca. 400 ms), wird die Zielbewegung nahezu fehlerlos detektiert. Der „Effekt des Lags“ ist jedoch im Vergleich zum Motion Blindness Effekt sehr klein. Dass sich der Effekt in den Mittelwerten bei Sahraie et al. (2001) nicht zeigt, sich hingegen nur in den Varianzen andeutet, ist vermutlich auf die Größe der Stichproben zurückzuführen. Bei Sahraie et al. (2001) gingen 5 Vpn in die Auswertung ein, in Experiment 2 der vorliegenden Arbeit sind es 16 Vpn.

4.5 Zusammenfassung

Die Ergebnisse von Experiment 2 belegen, dass das Erklärungsmodell zur Motion Blindness von Sahraie et al. (2001) den Effekt der Anzahl und der zeitlichen Position von Distraktoren berücksichtigen muss. Es besteht ein Zusammenhang zwischen der Distraktoranzahl und der Stärke der postulierten Inhibition, die zur verringerten Detektionsleistung für die Zielbewegung führt. Nach der Darbietung des letzten Distraktors kommt es zu einem langsamen Abbau der Inhibition. Dieser langsame Prozess wird mit der Darbietung des Hinweisreizes von einem schnellen Prozess abgelöst, der innerhalb von ca. 400 ms zu einer vollständigen Lösung der Inhibition führt. Das Ergebnis eines „Lageeffekts“ lässt zudem die Schlussfolgerung zu, dass der Fokus der visuellen Aufmerksamkeit beginnend mit der Darbietung des Hinweisreizes von einer lokalen in eine globale Ausrichtung übergeht.

5 Experiment 3

Beeinflusst Übung den Motion Blindness Effekt? Welche Komponenten zeigen sich im Distraktor-EKP?

5.1 Einleitung

In Experiment 3 sollte zum einen untersucht werden, ob es zu Übungseffekten im Motion Blindness Paradigma kommt. Zum anderen ging es darum, die Komponenten des ereigniskorrelierten Potentials auf die Distraktorbewegungen zu etablieren. Explorativ sollte weiterhin der Einfluss der Distraktoranzahl auf die Komponenten des Distraktor-EKP untersucht werden. Die Grundlage für diese Fragestellungen ist im folgenden dargestellt.

5.1.1 Übungseffekte im Motion Blindness Paradigma

Im Motion Blindness Paradigma werden die beiden Reizsequenzen mit einer hohen Frequenz dargeboten. Die schnelle Abfolge der Reize führt dazu, dass die meisten Vpn anfangs den Eindruck haben, den Zielreiz kurz nach der Darbietung des Hinweisreizes nicht detektieren zu können. Es ist in der Tat immer ein Training individueller Dauer nötig, bis die Vpn eine sichere Detektion der Zielbewegung leisten. Aufgrund dieser Beobachtung stellt sich die Frage, wie sich die Detektionsleistung im Verlauf eines Experiments verändert. Denkbar ist, dass sich zu Beginn immer noch zahlreiche Verpasser des Zielreizes ergeben, während sich am Ende des Experiments aufgrund von Übungseffekten eine nahezu fehlerlose Detektion zeigt. Bei einer Mittelung über alle Durchgänge eines Experiments – wie in Experiment 2 der vorliegenden Arbeit - geht diese Information jedoch verloren.

Braun (1998) konnte in diesem Zusammenhang nachweisen, dass sich im Paradigma des Attentional Blink deutliche Übungseffekte ergeben. Dabei scheint es insbesondere die Vertrautheit bzw. Unvertrautheit mit der schnellen Reizabfolge auf dem Bildschirm zu sein, die den größten Einfluss auf die Detektionsleistung hat. Zwei Gruppen von intensiv trainierten Probanden – eine Gruppe war spezifisch auf das experimentelle Paradigma trainiert, eine andere allgemein auf schnelle Reizabfolgen – unterschieden sich voneinander nicht, waren jedoch erheblich besser als eine Gruppe von Probanden, die noch nie an einem Experiment mit hochfrequenten Reizsequenzen teilgenommen hatte. Green & Bavelier (2003)

ließen zwei Gruppen von Probanden verschiedene Trainingseinheiten durchlaufen: eine Gruppe trainierte mit Hilfe eines einfachen Computerspiels, bei dem jeweils ein Objekt auf dem Bildschirm spielrelevant ist; eine andere Gruppe trainierte mit Hilfe eines komplexen Spiels, bei dem viele bewegte Objekte in schneller Abfolge zu beachten sind*. Für die zweite Gruppe zeigte sich u.a. eine deutlich schnellere Erholung der Detektionsleistung über die Lags im Attentional Blink Paradigma. Dieser Befund ist vereinbar mit der Annahme von Braun (1998), dass eine zunehmende Vertrautheit mit schnellen Reizabfolgen zu besseren Detektionsleistungen in entsprechenden Experimenten zur visuellen selektiven Aufmerksamkeit führt.

In Experiment 3 sollte nun untersucht werden, inwieweit die zunehmende Übung (im Sinne von Vertrautheit) im Verlauf des Experiments zu einer Verminderung des Motion Blindness Effekts führt. Das Ziel war nicht eine Überprüfung, wie sich der Effekt nach tausenden von Trainingsdurchgängen verhält (siehe Braun, 1998). Es sollte vielmehr die Möglichkeit ausgeschlossen werden, dass der bei Sahraie et al. (2001) sowie in Experiment 2 der vorliegenden Arbeit berichtete Effekt insbesondere auf die ersten Durchgänge zurückzuführen ist, in denen die Vpn viele Verpasser möglicherweise allein aufgrund einer Unvertrautheit mit dem Paradigma produzieren.

5.1.2 Elektrophysiologie der Distraktoren im Motion Blindness Paradigma

Niedeggen et al. (2002) führten eine erste elektrophysiologische Untersuchung des Motion Blindness Effekts im Hinblick auf das Erklärungsmodell von Sahraie et al. (2001) durch. Die Fragestellung beschränkte sich dabei auf das ereigniskorrelierte Potential (EKP) der Zielbewegung. Es wurden zwei Komponenten des Zielreiz-EKP untersucht: die bewegungsinduzierte, posteriore N200 (Bach & Ullrich, 1994) und die parietale P300 (Verleger, 1988). Die N200 ist eng an den Prozess der Bewegungsintegration gekoppelt (Niedeggen & Wist, 1999) und wird mit hoher Wahrscheinlichkeit im Areal MT/V5 des Cortex generiert (Nakamura et al., 2003). Die P300 wird allgemein mit der post-sensorischen Reizevaluation und kontrollierter Verarbeitung in Zusammenhang gebracht (Übersicht bei Hruby & Marsalek, 2003). Niedeggen et al. (2002) konnten nachweisen, dass die Amplitude der P300 für nicht detektierte Zielbewegungen geringer ausgeprägt ist als für detektierte Zielbewegungen. Die Amplitude der Zielreiz-N200 hingegen zeigte sich nicht beeinflusst

* Bei den genannten Spielen handelt es sich um „Tetris“ und „Medal of Honor“.

vom perzeptiven Zustand der Vpn. Vergleichbare elektrophysiologische Ergebnisse sind in anderen Paradigmen berichtet worden, etwa im Paradigma des Attentional Blink (Kranzioch, Debener & Engel, 2003; Vogel et al., 1998).

Aufgrund der Ergebnisse von Niedeggen et al. (2002) zum Zielreiz-EKP lässt sich ausschließen, dass die von Sahraie et al. (2001) postulierte Inhibition zu einer Reduktion der sensorischen Antwort auf den Zielreiz führt. Der Befund der reduzierten P300 lässt sich hingegen entweder als Folge der Inhibition (und somit der nicht erfolgten Detektion) oder als Ursache der Inhibition (im Sinne eines Wirkmechanismus) interpretieren.

Aussichtsreicher für die Suche nach dem Wirkmechanismus der Inhibition erscheint die Untersuchung des Distraktor-EKP. Es ist aufgrund der Instruktion, die Distraktoren nicht zu beachten, davon auszugehen, dass bei der Verarbeitung der Distraktoren der postulierte Prozess der Inhibition weniger überlagert ist von Prozessen der Reizevaluation als bei der Verarbeitung der Zielreize. In der Arbeit von Mihail (2002), die als Diplomarbeit an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf durchgeführt wurde, konnte sowohl die bewegungsinduzierte N200 als auch die parietale P300 im Distraktor-EKP nachgewiesen werden. Diese und ggf. weitere Komponenten als Merkmale des Distraktor-EKP im Motion Blindness Paradigma zu etablieren, war das erste Ziel der elektrophysiologischen Untersuchung des vorliegenden Experiments. In einem nächsten Schritt sollte explorativ der Einfluss der Distraktoranzahl auf das EKP des letzten Distraktors einer Sequenz untersucht werden. Das zweite Ziel war es also, die Varianz des Distraktor-EKP in Beziehung zu setzen zur postulierten Zunahme der Inhibition mit steigender Distraktoranzahl.

5.1.3 Fragestellungen und Hypothesen

Um zu überprüfen, ob Übungseffekte im Verlauf eines Motion Blindness Experiments dazu führen, dass aufgrund einer zunehmenden Vertrautheit mit der schnellen Reizabfolge der Effekt abnimmt, sollte die Detektionsleistung jeder Vp in zwei aufeinanderfolgenden Blöcken miteinander verglichen werden. Die Anzahl der Durchgänge pro Block und Bedingung sollte dabei mit den bisherigen Experimenten vergleichbar sein. Wenn ein Übungseffekt im Sinne einer zunehmenden Vertrautheit mit dem Paradigma den Effekt der Motion Blindness beeinflusst, dann sollte sich eine bessere Detektionsleistung im zweiten Block des Experiments zeigen. Diese Hypothese bezieht sich auf den Zeitpunkt der maximalen Ausprägung des Motion Blindness Effekts, d.h. Lag 0.

Da es sich in Experiment 2 in erster Linie um eine explorative Untersuchung zum Distraktor-EKP handelt, können an dieser Stelle keine Hypothesen formuliert werden. Es gilt jedoch eine sehr allgemeine Hypothese für jede ermittelte Komponente des Distraktor-EKP: Wenn die Komponente im Zusammenhang steht mit der postulierten Inhibition, dann sollte sich ein Einfluss der Distraktoranzahl auf ihre Amplitude zeigen.

5.2 Methode

5.2.1 Stichprobenbeschreibung

Die Daten wurden an 16 gesunden Vpn ermittelt. Davon gingen 10 Vpn (6 weiblich) in die Auswertung ein. Der Altersdurchschnitt dieser Vpn betrug 24.20 Jahre (20 – 31 Jahre).

5.2.2 Stimulus, Aufgabe der Vpn und Operationalisierung der Variablen

Die grundlegenden Stimulusparameter finden sich im allgemeinen Methodenteil. In Experiment 3 gab es globale Sequenzen, in denen 1, 4 oder 7 Distraktoren dargeboten wurden (UV1). Die Zielbewegung wurde gleichzeitig mit dem Hinweisreiz (Lag 0) oder mit einem SOA von 400 ms (Lag 4) dargeboten (UV2). Da sich die erste Fragestellung auf Lag 0 bezieht, handelt es sich bei der Darbietung des Zielreizes an Lag 4 um eine Kontrollbedingung zur Überprüfung der Erholung der Motion Blindness.

Jede Stimulussequenz dauerte 5000 ms. Der Hinweisreiz wurde zwischen 2500 und 3700 ms nach dem Beginn der Stimulussequenz präsentiert. Es gab Durchgänge ohne Distraktoren, in denen der Hinweisreiz bereits zwischen 1000 und 2000 ms dargeboten wurde. Auf diese Weise sollte kontrolliert werden, dass die Vpn die lokale Sequenz von Beginn an beachten. Diese Durchgänge gingen nicht in die Auswertung ein. Distraktoren konnten in einem Zeitraum zwischen 500 ms und 2000 ms nach Beginn einer Sequenz auftreten. Der letzte Distraktor wurde immer 500 ms vor der Darbietung des Hinweisreizes dargeboten.

Die Durchgänge des Experiments wurden in zwei Blöcken gleicher Länge dargeboten (UV3). Dabei umfassten beide Blöcke dieselben Bedingungen.

Die Vpn hatten in jedem Durchgang die Aufgabe, die Zielbewegung zu entdecken (AV) und die Richtung der Bewegung zu diskriminieren. Der Übungsteil umfasste Durchgänge aller Bedingungen in randomisierter Reihenfolge und war von individueller Dauer (ca. 10 Minuten).

5.2.3 Versuchsplan

Die Darbietung von 1, 4 oder 7 Distraktoren in einer Bewegungssequenz entspricht den Stufen des Faktors „Anzahl“. Das Zeitintervall zwischen Hinweisreiz und Zielreiz entspricht dem Faktor „Lag“ mit den Stufen 0 und 4, wobei die Stufe 4 als Kontrollbedingung untersucht wurde.

Die insgesamt sechs Bedingungen (Lag 0: je 48 Durchgänge, Lag 4: je 24 Durchgänge) wurden an allen 16 Vpn untersucht. Die Durchgänge aller Bedingungen wurden in zwei Experimentalblöcke aufgeteilt. Dies entspricht dem Faktor „Block“ mit den Stufen 1 und 2.

In Experiment 3 handelte es sich somit um einen 3-faktoriellen (3x2x2) Versuchsplan mit Messwiederholungen auf allen Faktoren. Der Versuchsplan ist Tabelle 5.1 zu entnehmen.

Tabelle 5.1

Versuchsplan Experiment 3. In Klammern sind die Durchgänge pro Bedingung angegeben.

	Lag 0	Lag 4 (Kontrolle)
Anzahl	[Block 1, Block 2]	[Block 1, Block 2]
1 Distraktor	Bedingung 1 (48)	Bedingung 4 (24)
4 Distraktoren	Bedingung 2 (48)	Bedingung 5 (24)
7 Distraktoren	Bedingung 3 (48)	Bedingung 6 (24)

Zur Erfassung von falschen Alarmen wurde in drei weiteren Bedingungen mit unterschiedlicher Distraktoranzahl kein Zielreiz dargeboten (0, 3, 6 Distraktoren: je 24 Durchgänge). Zusätzlich wurden 96 Durchgänge mit frühem Hinweisreiz präsentiert. Die insgesamt 384 Durchgänge wurden in zwei Blöcke mit je 192 Durchgängen unterteilt und nacheinander dargeboten. Innerhalb der beiden Blöcke wurde die Reihenfolge der Durchgänge für jede Vp randomisiert.

5.2.4 Auswertung der Psychophysik

Für alle Bedingungen wurden die Mittelwerte und Standardfehler der relativen Häufigkeiten der Zielreiz-Detektion über alle Vpn berechnet. Zusätzlich wurden die relativen Häufigkeiten der falschen Alarme ermittelt. Zur Überprüfung der Hypothese wurden die Effekte der Faktoren „Block“ und „Anzahl“ auf die Detektionsleistung für Zielreize an Lag 0 mit Hilfe einer 2-faktoriellen ANOVA mit Messwiederholungen untersucht. Dabei wurden die Freiheitsgrade der Teststatistik für den 3-stufigen Faktor „Anzahl“ nach Greenhouse und Geisser (1959) korrigiert, um α -Fehler möglichst zu vermeiden*. Im Ergebnisteil werden der korrigierte p -Wert und der verwendete Korrekturwert $\hat{\epsilon}$ angegeben. Die Freiheitsgrade der Teststatistik werden unkorrigiert angegeben. Unter der Voraussetzung eines signifikanten Haupteffekts sollte zusätzlich ein linearer Zusammenhang zwischen der Distraktoranzahl und der Detektionsleistung mit Hilfe eines Trendtests überprüft werden (Eimer, 1978).

5.2.5 Erfassung und Verarbeitung des ereigniskorrelierten Potentials (EKP)

Um das Distraktor-EKP möglichst ohne Überlagerung durch andere Potentiale zu extrahieren, wurde zum einen bei der Darbietung der Sequenzen darauf geachtet, dass das Zeitintervall (SOA) zwischen dem betreffenden und dem vorhergehenden Distraktor 500 ms betrug. Dasselbe galt für das Zeitintervall zwischen dem betreffenden Distraktor und dem lokalen Hinweisreiz. In Abbildung 5.1 ist diese Methode der „zeitliche Isolation“ für die Extraktion des Distraktor-EKP schematisch dargestellt.

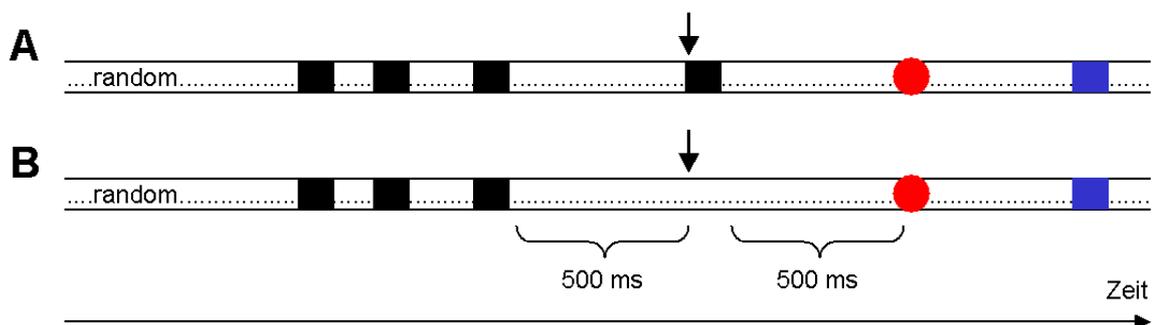


Abbildung 5.1 „Zeitliche Isolation“ für die Extraktion des Distraktor-EKP. Das Zeitintervall (SOA) zwischen dem betreffenden Distraktor (schwarzes Rechteck) und dem vorhergehenden Distraktor sowie dem Hinweisreiz (roter Kreis) betrug 500 ms (A). Für die Bildung des Differenz-EKP wurde auf den lokalen Farbwechsel ohne Distraktor abgeleitet (B). Die schwarzen Pfeile stellen die Triggersignale dar.

* Eine Überprüfung der Sphärizität/ Zirkularität mit Hilfe des Tests von Mauchly (1940) wurde aufgrund der Kritik von Keselman, Rogan, Mendoza und Breen (1980) sowie von O'Brien und Kaiser (1985) nicht durchgeführt. Der Test erweist sich insgesamt als nicht robust und anfällig für α - und β -Fehler in Abhängigkeit von der Größe der Stichprobe.

Zum anderen wurde die Methode der Bildung von Differenz-EKPs verwendet, um das Distraktor-EKP möglichst vom Potential auf den lokalen Farbwechsel zu bereinigen. Zu diesem Zweck wurde in insgesamt 72 Durchgängen auf einen Zeitbereich ohne Distraktor, aber mit dem fortlaufenden Farbwechsel abgeleitet (siehe Abbildung 5.1). Anschließend wurde das Farbwechsel-EKP vom Distraktor-EKP subtrahiert. Differenzpotentiale wurden bereits in zahlreichen Studien mit schnellen Reizabfolgen eingesetzt, um EKP Komponenten wie z.B. die P300 und N400 zu extrahieren (Luck, 1998; Luck et al., 1996). Niedeggen et al. (2002) verwendeten Differenzpotentiale zur Extraktion des Zielreiz-EKP im Motion Blindness Paradigma. In Abbildung 5.2 ist das Verfahren der Differenzbildung für die Extraktion der N400 Komponente dargestellt.

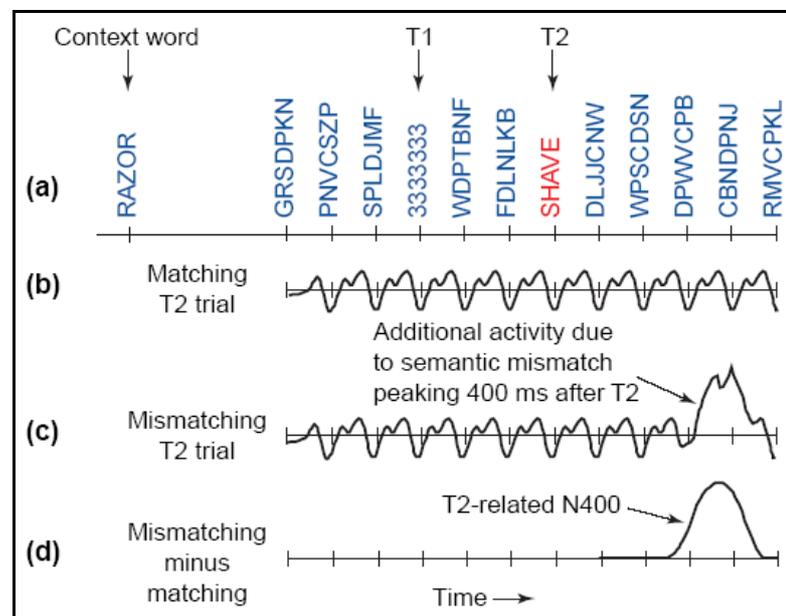


Abbildung 5.2 Bildung des Differenz-EKPs zur Extraktion der N400. Das EKP auf die schnelle Reizabfolge (b) wird vom EKP auf die N400 Bedingung (c) abgezogen. Man erhält das „bereinigte“ Differenz-EKP (d), das in erster Linie die Prozesse der N400 auslösenden Bedingung widerspiegelt (Luck, Woodman & Vogel, 2000)

Das EEG Signal wurde *offline* im Bereich von 0.5 bis 30 Hz digital gefiltert (Steilheit des Filters: 24 dB/octave) und anschließend mit Hilfe der Triggersignale segmentiert. Die Länge der ausgewerteten Segmente betrug 800 ms, beginnend 200 ms vor der Darbietung des Distraktors zum Zeitpunkt 0 ms. Die Baseline-Korrektur umfasste das Zeitintervall [-200..0 ms]. Augenblinzler (Maximalwerte größer als $\pm 100 \mu\text{V}$ im hEOG oder vEOG), Potentialdifferenzen zwischen zwei Messpunkten größer als $50 \mu\text{V}$, Maximalwerte größer als $\pm 50 \mu\text{V}$ sowie Flatline-Potentiale ($\leq 0.5 \mu\text{V}$ für mindestens 100 ms) wurden als Artefakte gekennzeichnet. Segmente mit Artefakten wurden von der weiteren Auswertung ausgeschlossen. Die verbleibenden Segmente wurden entsprechend den unterschiedlichen

Bedingungen für jede Vp gemittelt (*averages*). Die dabei maximal für jede Vp in jede Bedingung eingehenden Segmente können dem Versuchsplan in Tabelle 5.1 entnommen werden. Nach der Mittelung wurden die Differenzpotentiale (Distraktor-EKP *average* minus Farbwechsel-EKP *average*) für jede Vp berechnet. Die Differenzpotentiale jeder Vp wurden getrennt nach den Bedingungen zur weiteren Auswertung verwendet. Für die Darstellung der Potentiale und Topographien wurde über alle Vpn gemittelt (*grand averages*).

5.2.6 Auswertung des Distraktor-EKP

In Experiment 3 wurde nur das EKP des jeweils letzten Distraktors einer Sequenz ausgewertet. Somit konnte gemäß dem Versuchsplan das EKP von Distraktoren untersucht werden, denen 0, 3 oder 6 Distraktoren in der Reizsequenz vorhergingen (UV1). Im folgenden werden die entsprechenden Distraktoren als D0, D3 und D6 bezeichnet (D0: erster und einziger Distraktor einer Sequenz; D3: drei Distraktoren wurden vorher dargeboten; D6: sechs Distraktoren wurden vorher präsentiert). Die Anzahl der zuvor dargebotenen Distraktoren in der globalen Sequenz (0, 3, 6) entspricht den Stufen des Faktors „Distraktor“ für die explorative Auswertung des Distraktor-EKP.

Im ersten Schritt der Auswertung wurde das Distraktor-EKP aufgrund von visueller Inspektion der Topographien in Zeitbereiche unterteilt, die die Komponenten des Distraktor-EKP möglichst optimal erfassen sollten. Zur Absicherung dieser Zeitbereiche wurde überprüft, ob sich die jeweils aufeinanderfolgenden Topographien signifikant voneinander unterscheiden.

Im zweiten Schritt wurde der Einfluss des Faktors „Distraktor“ auf die mittleren Amplituden (AV) in den unterschiedlichen Zeitbereichen untersucht. Um die Auswertung der Amplituden zu vereinfachen, wurden die 30 verwendeten Elektroden *a priori* entsprechend ihrer räumlichen Lage in Cluster zusammengefasst (siehe Rösler, Streb & Haan, 2001; für *a posteriori* Cluster aufgrund der gemessenen Daten vgl. Hauk & Pulvermüller, 2004). Dabei wurden die in der Anatomie gebräuchlichen Dimensionen „Sagittal“, „Coronal“ und „Axial“ verwendet. Für die Dimension „Sagittal“ lagen zwei Ausprägungen vor (links, rechts), für die Dimension „Coronal“ drei (anterior, medial, posterior), und für die Dimension „Axial“ gab es zwei Ausprägungen (inferior, superior). Die Elektroden Fz und Cz sowie Pz und Oz bildeten aufgrund ihrer Lage auf der Mittellinie zwei weitere Cluster. Somit ergaben sich insgesamt 14 Cluster, die in Tabelle 5.2 zusammengefasst sind. Abbildung 5.3 zeigt eine graphische Darstellung der gebildeten Cluster.

Tabelle 5.2

Zusammenfassung der 14 Elektroden-Cluster. Die räumliche Position der Cluster ist in gemittelten Theta- und Phi-Koordinaten angegeben.

Cluster	Sagittal x Coronal x Axial	Elektroden	Theta, Phi
LAI	links anterior inferior	AF3, F7	-83, -51
LAS	links anterior superior	F3, FC1, FC5	-55, -39
RAI	rechts anterior inferior	AF4, F8	83, 51
RAS	rechts anterior superior	F4, FC2, FC6	55, 39
LMI	links medial inferior	CP5, T7	-82, 11
LMS	links medial superior	C3, CP1	-39, 23
RMI	rechts medial inferior	CP6, T8	82, -11
RMS	rechts medial superior	C4, CP2	39, -23
LPI	links posterior inferior	O1, P7	-92, 54
LPS	links posterior superior	P3, PO3	-67, 58
RPI	rechts posterior inferior	O2, P8	92, -54
RPS	rechts posterior superior	P4, PO4	67, -58
MFC	Mittellinie fronto-zentral	Fz, Cz	23, 90
MPO	Mittellinie parieto-okzipital	Pz, Oz	69, -90

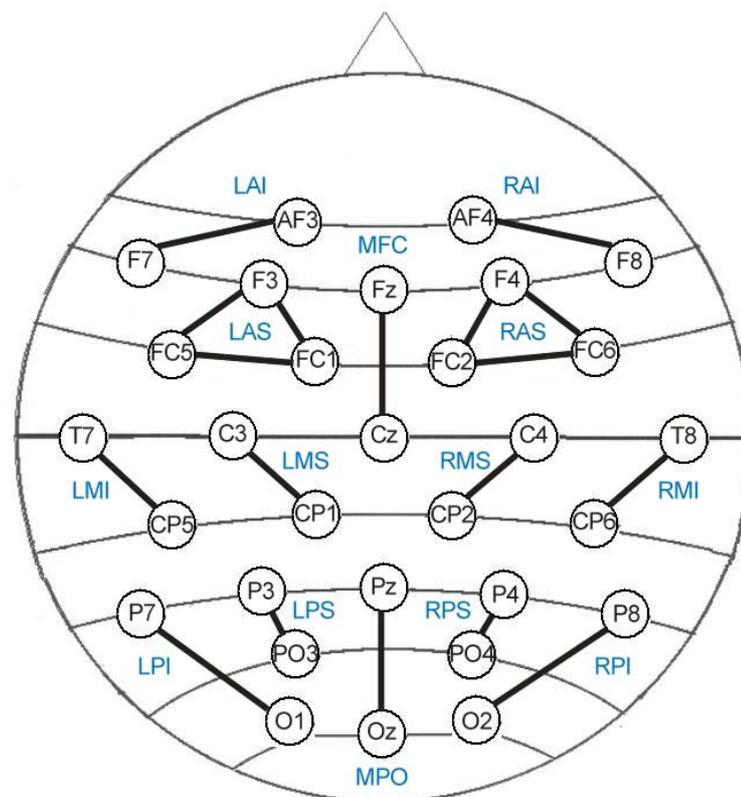


Abbildung 5.3 Darstellung der verwendeten Elektrodenanordnung und Clusterbildung in Experiment 3. Die Elektrodenpositionen entsprechen dem (erweiterten) 10-20 System (Chatrian, Lettich & Nelson, 1985; Jasper, 1958). Die dicken Verbindungslinien zeigen an, welche Elektroden zu einem Cluster zusammengefasst wurden. Die Bezeichnungen der Cluster sind in blauer Schrift wiedergegeben.

Die statistische Auswertung wurde für jeden Zeitbereich auf diejenigen Cluster beschränkt, die den topographischen Schwerpunkt der Komponente abbildeten (UV2). Für die einzelnen Zeitbereiche wurden 2-faktorielle ANOVAs (Faktoren „Distraktor“ und „Cluster“) mit Messwiederholungen auf beiden Faktoren durchgeführt. Dabei galt für jede durchgeführte ANOVA ein Signifikanzniveau von 5%. Wie bei Rösler, Pütz, Friederici und Hahne (1993) wurden die Freiheitsgrade der ANOVAs – ohne Überprüfung des Tests von Mauchly (1940) – mit Hilfe der Formel von Huynh und Feldt (1976) korrigiert. Im Ergebnisteil werden der korrigierte p -Wert und der verwendete Korrekturwert ϵ angegeben. Die Freiheitsgrade der Teststatistik werden unkorrigiert berichtet. Die beschriebene Auswertung der mittleren EKP Amplituden mit Hilfe von messwiederholten ANOVAs entspricht den Vorgaben von Picton et al. (2000).

Topographische Unterschiede zwischen Zeitbereichen oder Bedingungen wurden ebenfalls mit messwiederholten ANOVAs untersucht, wobei die Freiheitsgrade nach Huynh und Feldt (1976) korrigiert wurden. McCarthy und Wood (1985) wiesen darauf hin, dass die Amplitudenwerte aller Elektroden (hier: Cluster) zunächst für jede Bedingung skaliert werden müssen, um eine signifikante Interaktion „Zeitbereich x Cluster“ bzw. „Bedingung x Cluster“ als gültigen Hinweis für unterschiedliche Topographien interpretieren zu können. Mit Hilfe einer Skalierung werden die Unterschiede in den Mittelwerten und Standardabweichungen zwischen den Bedingungen eliminiert. Der Hintergrund für dieses Vorgehen ist, dass dieselbe elektrophysiologische Quelle bei unterschiedlicher Stärke nicht zu einem konstanten Unterschied der Amplituden über allen Elektroden führt (dies würde einem Haupteffekt „Bedingung“ entsprechen). Vielmehr können sich multiplikative Unterschiede an benachbarten Elektroden ergeben, die von der ANOVA als Interaktion „Bedingung x Cluster“ erkannt werden. Fälschlicherweise könnte ein solches Ergebnis als Hinweis auf unterschiedliche Topographien interpretiert werden. Haig, Gordon und Hook (1997) konnten jedoch nachweisen, dass die Skalierung von EKP-Daten ebenfalls zu fehlerhaften Ergebnissen führen kann, die die tatsächlich vorliegenden topographischen Unterschiede nicht erkennen lassen bzw. verzerren. In der vorliegenden Arbeit wurden zum statistischen Vergleich von Topographien zunächst z-standardisierte Amplitudenwerte verwendet (vgl. Rösler et al., 1993; Rösler et al., 2001). Der Empfehlung von Haig et al. (1997) folgend wurden zusätzlich ANOVAs mit nicht skalierten Amplituden gerechnet (vgl. Falkenstein, Hoormann & Hohnsbein, 2002). Die beschriebene Auswertung der EKP Topographien ist vereinbar mit den Vorgaben von Picton et al. (2000).

5.3 Ergebnisse

5.3.1 Psychophysik

Der Mittelwert für falsche Alarmer – gemittelt über die drei Bedingungen ohne Zielreiz – über 16 Vpn beträgt 3.16% ($SD = 5.46\%$). Aufgrund des Ausschlusskriteriums wurde eine Vpn mit einer Quote für falsche Alarmer von 14.91% ausgeschlossen. Weitere fünf Vpn wurden aufgrund von EKP Kriterien nicht in die Auswertung aufgenommen*. Der korrigierte Mittelwert für falsche Alarmer über 10 Vpn beträgt 1.53% ($SD = 2.56\%$). Dabei betragen die Unterschiede zwischen den Bedingungen ohne Zielreiz weniger als 3% und werden im folgenden nicht diskutiert.

In Tabelle 5.3 sind die Mittelwerte der Detektionsleistung in allen sechs Bedingungen des Versuchsplans über 10 Vpn mit Standardfehlern dargestellt. Die Tabelle unterscheidet zwischen den Ergebnissen aus den beiden Experimentalblöcken. In Abbildung 5.4 findet sich eine graphische Darstellung der Ergebnisse.

Tabelle 5.3

Mittelwerte der Detektion des Zielreizes (%) über 10 Vpn mit Standardfehlern.

	Lag 0 – Block 1	Lag 0 – Block 2	Lag 4 – Block 1 (Kontrolle)	Lag 4 – Block 2 (Kontrolle)
Anzahl				
1 Distraktor	86.25 (5.34)	87.92 (5.18)	98.33 (0.94)	97.50 (1.08)
4 Distraktoren	75.83 (5.19)	82.92 (4.91)	97.50 (1.08)	99.17 (0.70)
7 Distraktoren	70.00 (6.17)	77.50 (6.66)	100.00 (0.00)	99.17 (0.70)

* Bei zwei Vpn zeigten sich langsame Drifts im vEOG und an frontalen Elektroden, das EKP einer Vp zeigte einen dominanten Alpha-Rhythmus. Bei einer Vp zeigte sich ein verrauschtes *average* ohne erkennbare Komponenten. Technische Probleme bei der Generierung des Triggersignals ergaben sich bei einer Vp.

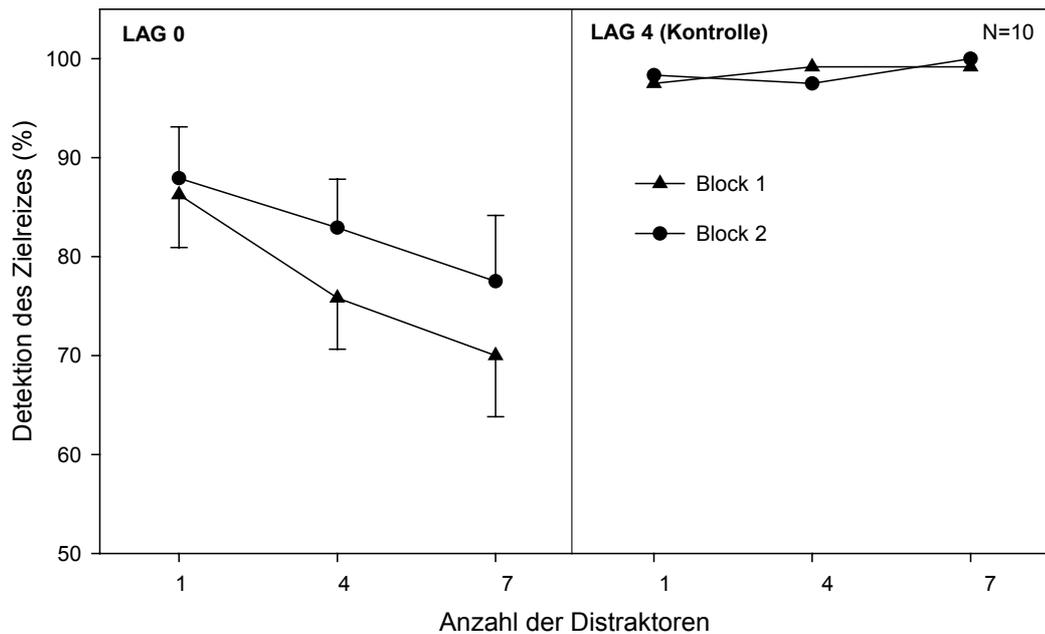


Abbildung 5.4 Detektion des Zielreizes (%) in allen Bedingungen des Versuchsplans in den beiden Blöcken des Experiments. Mittelwerte über 10 Vpn mit Standardfehlern.

Abbildung 5.4 ist zu entnehmen, dass sich für Zielreize an Lag 0 in beiden Blöcken des Experiments eine deutliche Abnahme der Detektionsleistung mit steigender Distraktoranzahl ergibt. Die 2-faktorielle ANOVA mit Messwiederholungen* bestätigt einen signifikanten Haupteffekt „Anzahl“ ($F(2,18) = 10.39$, $\hat{\epsilon} = .57$, $p = .008$, $\eta^2 = .54$). Der durchgeführte Test auf einen linearen Trend zeigt sich ebenfalls signifikant ($F(1,9) = 11.96$, $p = .008$, $\eta^2 = .57$).

In Block 1 zeigt sich eine geringfügig niedrigere Detektionsleistung als in Block 2 (77.36%, 82.78%). Bei der Darbietung von einem Distraktor ist ein Unterschied zwischen den Blöcken jedoch nicht vorhanden. Es ergibt sich kein signifikanter Haupteffekt „Block“ ($F(1,9) = 3.67$, ns, $\eta^2 = .29$). Die Interaktion „Anzahl x Block“ wird ebenfalls nicht signifikant ($F(2,18) = 1.25$, $\hat{\epsilon} = .81$, ns, $\eta^2 = .12$).

Für Zielreize an Lag 4 zeigt sich in beiden Blöcken ein Deckeneffekt der Detektionsleistung. Die Detektionsleistung liegt hier für jede Distraktoranzahl bei >97%.

In beiden Experimentalblöcken produzieren die Vpn kaum falsche Alarme. Die relative Häufigkeit beträgt in Block 1 2.22% und in Block 2 0.83%.

* Eine multivariate Auswertung der Daten führt zu denselben signifikanten Ergebnissen.

5.3.2 Ereigniskorrelierte Potentiale

Die Artefakt-Korrektur führte zu einem Ausschluss von ca. 5% der Segmente. Eine eingehende, visuelle Überprüfung der verbleibenden Segmente führte nicht zum Ausschluss weiterer Segmente. In Abbildung 5.5 sind die *grand averages* an frontalen, zentralen und posterioren Elektroden für die Distraktoren D0, D3 und D6 dargestellt.

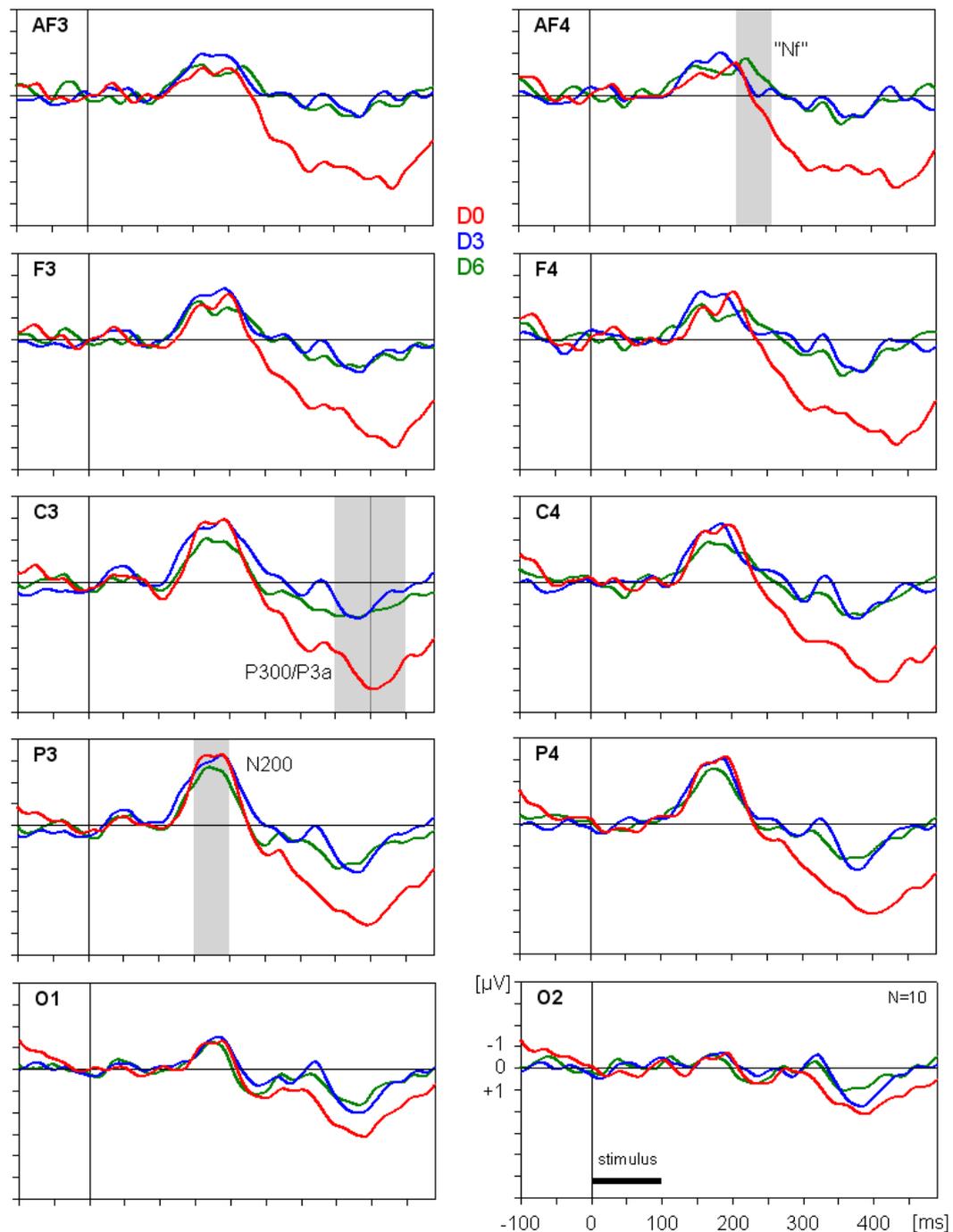


Abbildung 5.5 *Grand averages* über 10 Vpn für die Distraktoren D0, D3 und D6. Auf der x-Achse ist die Zeit in ms aufgetragen. Die y-Achse gibt die Amplitude des EKP in μV wieder. Der Beginn der Distraktorbewegung ist jeweils bei 0 ms („stimulus“). Grau markiert sind die Zeitbereiche der diskutierten EKP Komponenten (N200, „Nf“, P300/P3a).

Aus Abbildung 5.5 geht hervor, dass sich im Zeitfenster 150 – 200 ms eine Negativierung zeigt, die ihr Maximum an parietalen Elektroden erreicht. Die topographische Darstellung in Abbildung 5.6 verdeutlicht den parietalen Fokus dieser Negativierung. Die Topographie deutet zudem eine Lateralisierung der Negativierung nach links an. Dabei zeigen die Topographien der *averages* für Distraktor D0 bei 5 Vpn eine Lateralisierung nach links, bei 3 Vpn eine Lateralisierung nach rechts und bei 2 Vpn keine Lateralisierung der Negativierung.

Die Ergebnisse sprechen dafür, dass es sich bei der Negativierung im Distraktor-EKP um die bewegungsevozierte N200 handelt (Göpfert et al., 1988; Bach & Ullrich, 1994; Kubová et al., 1995). Die N200 wurde von Niedeggen et al. (2002) im Motion Blindness Paradigma bereits für das Zielreiz-EKP berichtet*. Der Befund der Lateralisierung befindet sich in Übereinstimmung mit den Daten aus unterschiedlichen Studien, die ebenfalls eine Lateralisierung der N200 beschreiben (Kubová et al., 1990; Nakamura et al., 2003). Jedoch zeigt in den genannten Studien die Mehrzahl der Probanden eine Lateralisierung nach rechts.

Allein für D6 ergibt sich im Zeitfenster 220 – 270 ms an frontalen Elektroden – gut zu erkennen an AF4 – eine weitere Negativierung. Abbildung 5.6 bestätigt für diesen Zeitraum eine negative frontale Topographie. Im folgenden wird die frontale Negativierung als „Nf“ abgekürzt werden. Eine Einordnung ist an dieser Stelle noch nicht möglich. Das Zeitfenster 220 – 270 ms erfasst zugleich eine Positivierung über okzipitalen Elektroden, die sich für alle Distraktoren mit einer stabilen Topographie zeigt. Eine Positivierung vergleichbarer Latenz und Topographie ist im bewegungsevozierten EKP bislang nicht beschrieben worden.

Ab ca. 250 ms beginnt sich insbesondere an zentralen Elektroden eine langsame Positivierung herauszubilden. Im Zeitbereich 350 – 400 ms ist diese Positivierung maximal ausgeprägt. Die topographische Darstellung in Abbildung 5.6 belegt einen zentro-parietalen Schwerpunkt der Positivierung. Allein für den Distraktor D0 ergibt sich für den Zeitbereich 400 – 450 ms eine Verlagerung der Positivierung an fronto-zentrale Elektroden (siehe Abbildung 5.6).

Die beschriebene langsame Positivierung lässt sich der Klasse der P300 Komponenten zuordnen, die allgemein mit der post-sensorischen Reizevaluation und einer kontrollierten Verarbeitung in Zusammenhang gebracht werden (Sutton, Braren, Zubin & John, 1965;

* Eine exaktere Bezeichnung der evozierten N200 im Motion Blindness Paradigma ist *coherence onset evoked N200*, da die Komponente hier den Beginn einer kohärenten Bewegung des Zufallspunkt-Kinematogramms widerspiegelt (siehe Niedeggen & Wist, 1999).

Donchin, 1981; Verleger, 1988; Übersicht bei Polich & Kok, 1995). Es wird an dieser Stelle bereits davon ausgegangen, dass es sich bei der Positivierung in Zeitfenster 400 - 450 ms um eine eigenständige Komponente im Sinne einer fronto-zentralen P3a handelt (Dien, Spencer & Donchin, 2004; Picton & Stuss, 1980).

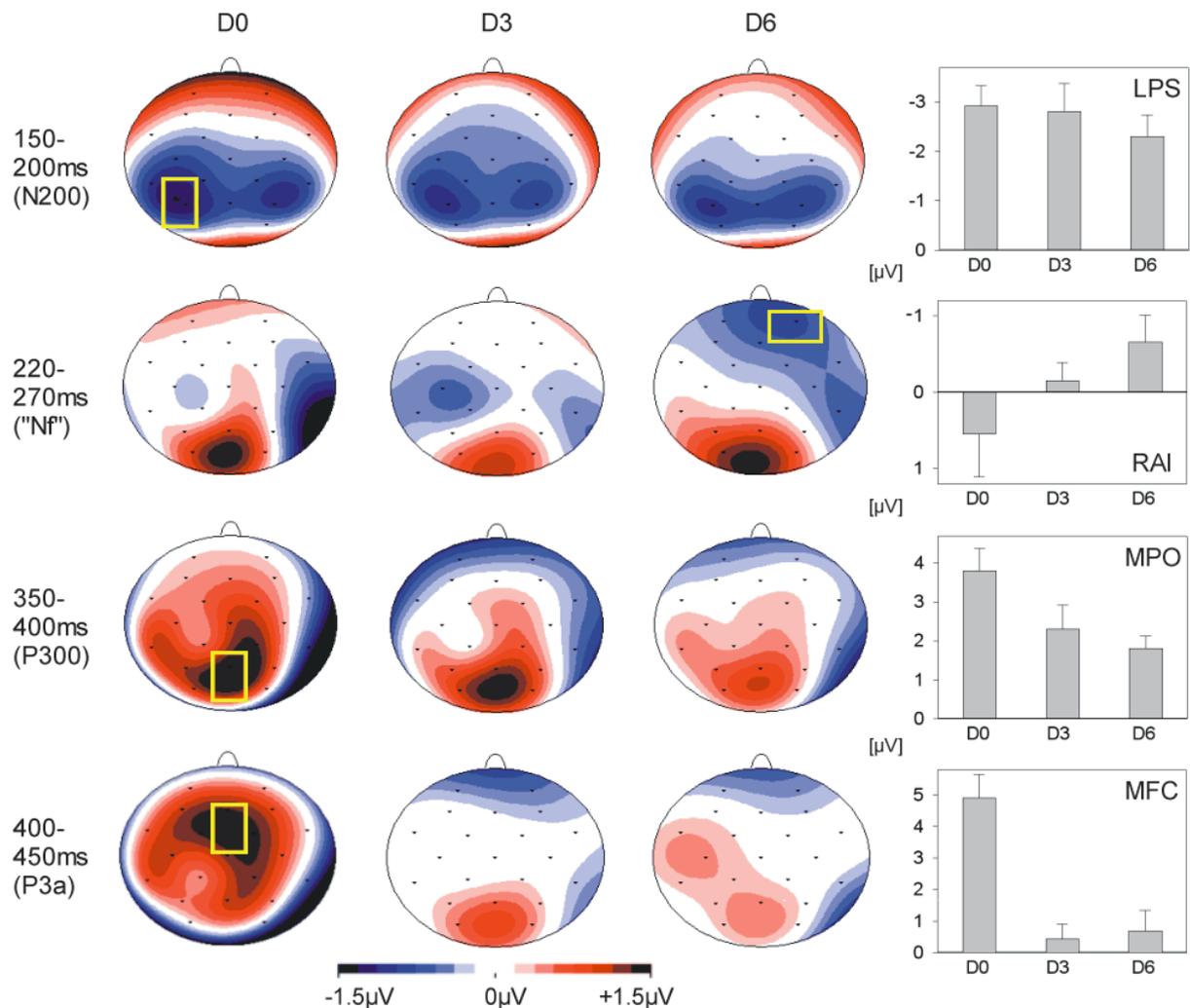


Abbildung 5.6 Topographien der *grand averages* über 10 Vpn für die Distraktoren D0, D3 und D6. Dargestellt sind die vier ausgewerteten Zeitbereiche des EKP. Die Farbcodierung reflektiert die mittleren *average reference* Amplituden. Die Balkendiagramme stellen die *common reference* Amplituden in einem Cluster dar. Die Positionen der Cluster sind durch gelbe Rahmen markiert.

Die Ergebnisse der durchgeführten Topographie-Vergleiche (siehe Tabelle 5.4) belegen für alle Distraktoren signifikant unterschiedliche Topographien in den Zeitbereichen 150 – 200 ms (N200) und 220 – 270 ms („Nf“).

Die Topographien der Zeitbereiche 220 – 270 ms („Nf“) und 350 – 400 ms (P300) hingegen zeigen sich lediglich für den Distraktor D3 signifikant unterschiedlich. Dieses Ergebnis geht insbesondere auf die links lateralisierte Negativierung im früheren Zeitfenster zurück, die sehr

wahrscheinlich die sich zurückbildende N200 darstellt. Für den Distraktor D6 ergibt sich ein tendenziell signifikanter Unterschied zwischen den Topographien. Hier ist es die frontale Negativierung („Nf“), die den deutlichsten topographischen Unterschied zwischen den Zeitbereichen darstellt. Für alle Distraktoren zeigt sich im Zeitbereich der „Nf“ am okzipitalen Cluster MPO die bereits erwähnte Positivierung, auf die in der vorliegenden Arbeit nicht näher eingegangen wird*.

Für den Distraktor D0 zeigt sich weiterhin ein signifikanter Unterschied zwischen den Topographien der Zeitbereiche 350 – 400 ms (P300) und 400 – 450 ms (P3a). Da sich im EKP der Distraktoren D3 und D6 im späteren Zeitfenster keine distinkte Topographie ergibt, wurde für diese Distraktoren keine statistische Überprüfung durchgeführt. Im EKP der Distraktoren D3 und D6 hat sich im Zeitbereich 400 – 450 ms die parietale P300 des früheren Zeitbereichs bereits vollständig zurückgebildet.

Tabelle 5.4

Ergebnisse der Topographie-Vergleiche zwischen den vier Zeitbereichen mit z-standardisierten Amplituden. Die Raute (#) kennzeichnet ein nicht signifikantes Ergebnis für unskalierte Amplituden. Die Statistik (Interaktion „Zeitbereich x Cluster“) beruht auf 10 Vpn und 14 Clustern.

	Distraktor D0	Distraktor D3	Distraktor D6
Topographie-Vergleich			
150-200ms (N200)	$F(13,117) = 7.27, \tilde{e} = .37$	$F(13,117) = 3.53, \tilde{e} = .42$	$F(13,117) = 10.26, \tilde{e} = .43$
mit 220-270ms („Nf“)	$p < .001, \eta^2 = .45$	$p = .008, \eta^2 = .28$	$p < .001, \eta^2 = .53$
220-270ms („Nf“)	$F(13,117) = 2.31, \tilde{e} = .35$	$F(13,117) = 2.96, \tilde{e} = .36$	$F(13,117) = 2.51, \tilde{e} = .33$
mit 350-400ms (P300)	ns, $\eta^2 = .20$	$p = .024, \eta^2 = .25$	$p = .054, \eta^2 = .22$ (#)
350-400ms (P300)	$F(13,117) = 3.97, \tilde{e} = .22$	nicht durchgeführt	nicht durchgeführt
mit 400-450ms (P3a)	$p = .021, \eta^2 = .31$		

* Zur Einordnung der Positivierung ist an dieser Stelle auf unterschiedliche Ergebnisse für das Onset- und Offset-Potential von Bewegungsreizen hinzuweisen. Bach & Ullrich (1994) konnten den folgenden widersprüchlichen Befund für das Onset-Potential erklären: Dagnelie (1986) sowie van Dijk, Dagnelie und Spekreijse (1987) fanden anstatt einer N200 eine posteriore Positivierung mit einer Latenz von ca. 130 – 140 ms (P1) im bewegungsvezierten EKP. Bach & Ullrich (1994) zeigten nun, dass sich die Amplituden der P1 und N200 in Abhängigkeit von der verwendeten Reizsequenz – genauer: in Abhängigkeit vom Anteil der Bewegungsphasen an der Gesamtzeit eines Durchgangs („duty-cycle“) - verändern. Beträgt der duty-cycle weniger als 20%, dominiert die N200. Beträgt der duty-cycle mehr als 50%, zeigt sich eine Dominanz der P1, die eine vergleichbare Topographie wie die Positivierung in Experiment 3 aufweist. Für das Offset-Potential berichten van Dijk et al. (1987) eine Negativierung mit einer Latenz von ca. 115 ms. Möglicherweise gilt für das Offset-Potential ebenfalls eine Abhängigkeit vom duty-cycle. Zwar diskutieren Bach & Ullrich (1994) nicht das Offset-Potential in ihren Daten, in den Abbildungen ihrer Studie zeigt sich jedoch eine Positivierung geringer Amplitude nach ca. 100 ms für einen duty-cycle von 10% (Seite 1543, Abbildung „Oz vs Fz“). Es ist somit denkbar, dass es sich in Experiment 3 bei der Positivierung im Zeitfenster 220 – 270 ms um eine Offset-Komponente handelt (in Experiment 3 lag ein duty cycle von max. 16% vor).

Effekt des Faktors „Distraktor“ auf das Distraktor-EKP

Im folgenden soll untersucht werden, ob die Anzahl der zuvor in der globalen Sequenz präsentierten Distraktorbewegungen einen Einfluss auf das Distraktor-EKP hat (Faktor „Distraktor“). In Abbildung 5.5 sind auf der Ebene einzelner Elektroden deutliche Unterschiede zwischen den EKPn von D0, D3 und D6 zu erkennen. Für die statistische Auswertung wurden für die vier ermittelten Zeitbereiche jeweils diejenigen Elektroden-Cluster ausgewählt, die den topographischen Schwerpunkt der untersuchten Komponente darstellen. In Tabelle 5.5 sind diese Cluster für alle Zeitbereiche zusammengefasst.

Tabelle 5.5

Die in der Inferenzstatistik untersuchten Zeitbereiche und Komponenten des Distraktor-EKP. Für jeden Zeitbereich sind die für die ANOVA verwendeten Cluster angegeben.

Zeitbereich	Komponente	Cluster für die ANOVA
150-200ms	bewegungsevozierte N200	LPS, RPS (lateral posterior)
220-270ms	frontale Negativierung („Nf“)	LAI, LAS, MFC, RAS, RAI (anterior)
350-400ms	posteriore P300	LPS, MPO, RPS (posterior)
400-450ms	fronto-zentrale P3a	LAS, MFC, RAS (anterior)

Aus Abbildung 5.6 geht hervor, dass sich für alle Distraktoren eine vergleichbare parietale Topographie der bewegungsevozierten N200 ergibt. Im Cluster LPS finden sich die maximalen Amplituden der N200. Hier zeigt sich eine geringe Abnahme der Amplitude mit zunehmender Anzahl an zuvor präsentierten Distraktoren (D0: $-2.92 \pm 0.41 \mu\text{V}$; D3: $-2.81 \pm 0.57 \mu\text{V}$; D6: $-2.30 \pm 0.44 \mu\text{V}$). Die durchgeführte ANOVA liefert weder einen signifikanten Haupteffekt „Distraktor“ ($F(2,18) = 0.95$, $\bar{\epsilon} = 1.00$, ns, $\eta^2 = .10$) noch eine signifikante Interaktion „Distraktor x Cluster“ ($F(2,18) = 0.75$, $\bar{\epsilon} = 1.00$, ns, $\eta^2 = .03$).

Im Zeitbereich der „Nf“ ergibt sich an frontalen Clustern mit zunehmender Distraktoranzahl eine Umkehr der Polarität des Distraktor-EKP. An Cluster RAI wird für den Distraktor D6 die maximale negative Amplitude erreicht (D0: $+0.55 \pm 0.56 \mu\text{V}$; D3: $-0.15 \pm 0.24 \mu\text{V}$; D6: $-0.66 \pm 0.35 \mu\text{V}$). Es zeigt sich für den Faktor „Distraktor“ kein signifikanter Effekt auf einem Signifikanzniveau von 5% ($F(2,18) = 2.27$, $\bar{\epsilon} = 1.00$, $p = .13$, $\eta^2 = .20$). Die Interaktion „Distraktor x Cluster“ wird ebenfalls nicht signifikant ($F(8,72) = 0.61$, $\bar{\epsilon} = .65$, ns, $\eta^2 = .06$).

Deskriptiv findet sich an frontalen Clustern ein nahezu linearer Anstieg der negativen Amplitude. Der durchgeführte Trendtest bestätigt einen signifikanten linearen Trend ($F(1,9) = 5.43$, $p = .045$, $\eta^2 = .38$). Das Ergebnis des Tests kann allerdings nur zur genaueren Beschreibung der Daten dienen, da der Haupteffekt „Distraktor“ nicht signifikant wird.

Abbildung 5.6 ist weiterhin zu entnehmen, dass sich im Zeitfenster 220 – 270 ms aufgrund der frontalen „Nf“ die Topographie des Distraktor-EKP für D6 deutlich unterscheidet von den Topographien für die Distraktoren D0 und D3. Der Unterschied zwischen den Topographien von D0 und D6 wird signifikant („Distraktor x Cluster“: $F(13,117) = 2.44$, $\tilde{\epsilon} = .51$, $p = .032$, $\eta^2 = .21$). Ein signifikantes Ergebnis ergibt sich gleichermaßen mit nicht skalierten Amplitudenwerten*. Der Unterschied zwischen den Topographien von D3 und D6 wird hingegen nicht signifikant. Die Ergebnisse zur topographischen Entwicklung der „Nf“ sollen ebenfalls nur der Beschreibung der Daten dienen, da bei der mehrfachen Testung in demselben Zeitbereich das Ansteigen des α -Fehlers nicht kontrolliert wurde.

Im Zeitbereich der P300 ergeben sich für die Distraktoren D0, D3 und D6 vergleichbare Topographien. Die Positivierung bestimmt die Topographie und zeigt einen parietalen Fokus. Lediglich für den Distraktor D0 erscheint die Positivierung auch zentral ausgeprägt. Im Cluster MPO ergeben sich die maximalen Amplituden der P300. Der Distraktor D0 führt hier zu einer deutlich ausgeprägteren Positivierung als die Distraktoren D3 und D6 (D0: $+3.79 \pm 0.58 \mu\text{V}$; D3: $+2.30 \pm 0.62 \mu\text{V}$; D6: $+1.80 \pm 0.32 \mu\text{V}$). Die ANOVA liefert einen signifikanten Haupteffekt „Distraktor“ ($F(2,18) = 9.69$, $\tilde{\epsilon} = 1.00$, $p = .002$, $\eta^2 = .52$). Die durchgeführten *a posteriori* Vergleiche (mit Korrektur für Mehrfachvergleiche nach Bonferroni) bestätigen eine signifikant positivere Amplitude für den Distraktor D0 im Vergleich mit den Distraktoren D3 und D6. Die signifikante Interaktion „Distraktor x Cluster“ ($F(4,36) = 2.71$, $\tilde{\epsilon} = .94$, $p = .049$, $\eta^2 = .23$) deutet eine unterschiedliche Abnahme der P300 Amplitude für die verschiedenen Cluster an.

Die fronto-zentrale P3a im Zeitbereich 400 – 450 ms zeigt sich nur im EKP für den Distraktor D0. Im Cluster MFC erreicht die P3a ihre maximale Amplitude (D0: $+4.91 \pm 0.74 \mu\text{V}$; D3: $+0.43 \pm 0.48 \mu\text{V}$; D6: $+0.69 \pm 0.65 \mu\text{V}$). Entsprechend bestätigt die ANOVA einen

* Um die Frage zu klären, auf welche Cluster der Unterschied zwischen den Topographien zurückgeht, wurden „lokale“ paarige t-Tests gerechnet. Stabile Unterschiede zwischen den Distraktor-EKPs für D0 und D6 zeigen sich an den frontalen Clustern RAS und MFC. Als „stabil“ gilt hier ein Unterschied, wenn der zweiseitige und für Mehrfachvergleiche unkorrigierte Test signifikant wird ($p < .05$). Ein stabiler Unterschied ergibt sich weiterhin an Cluster LMS; hier jedoch ist das Potential positiver für D6 als für D0.

signifikanten Haupteffekt „Distraktor“ ($F(2,18) = 17.26$, $\tilde{\epsilon} = 1.00$, $p < .001$, $\eta^2 = .66$). Die *a posteriori* Vergleiche belegen eine signifikant positivere Amplitude für den Distraktor D0 im Vergleich mit den Distraktoren D3 und D6. Die Interaktion „Distraktor x Cluster“ zeigt sich nicht signifikant ($F(4,36) = 2.33$, $\tilde{\epsilon} = .80$, ns, $\eta^2 = .21$).

5.4 Diskussion

5.4.1 Psychophysik

Sowohl in Block 1 als auch in Block 2 des vorliegenden Experiments zeigt sich für Zielreize an Lag 0 eine Abnahme der Detektionsleistung mit zunehmender Distraktoranzahl. Zwar ergibt sich in Block 1 eine insgesamt niedrigere Detektionsleistung als in Block 2, der Unterschied zwischen den Blöcken wird jedoch nicht signifikant. Offensichtlich bleibt der Motion Blindness Effekt auch nach einer „Übungsphase“ von 192 Durchgängen (Block 1) erhalten. Es ist somit auszuschließen, dass der in Experiment 2 sowie bei Sahraie et al. (2001) berichtete Effekt nur auf die ersten Durchgänge zurückgeht, in denen die Probanden noch unvertraut mit der schnellen Reizabfolge sind. Anzumerken ist, dass der Unterschied zwischen den Blöcken für eine größere Stichprobe als in Experiment 3 ($N=10$) möglicherweise signifikant wird. Die Größe der untersuchten Stichprobe ist allerdings vergleichbar mit den Stichprobengrößen aus bereits durchgeführten Experimenten zum Motion Blindness Effekt.

Nicht auszuschließen ist aufgrund der Ergebnisse von Experiment 3, dass sich bei weiterer intensiver Testung der Effekt zunehmend zurückbildet. So konnte Braun (1998) für hochgradig trainierte Probanden, die Tausende von Durchgängen absolvierten, die Aufhebung eines Attentional Blink Effekts nachweisen. Das Ziel des vorliegenden Experiments war es jedoch, die Unvertrautheit mit dem Paradigma (die sich innerhalb von 192 Durchgängen zurückbilden sollte) als Grundlage für den Motion Blindness Effekt auszuschließen.

Weiterhin ist davon auszugehen, dass die Vpn im Laufe des Experiments Strategien entwickeln, um die Aufgabe effektiver bearbeiten zu können. So ist es denkbar, dass die Vpn entgegen der Instruktion die Fixation des zentralen Farbwechsels während eines Durchgangs verlassen, um die kurze, globale Zielbewegung besser entdecken zu können. Die Detektion des roten Hinweisreizes ist schließlich auch möglich, wenn die Fixation um einige Grad

Schwinkel verlassen wird. Die Daten des hEOG und vEOG des vorliegenden Experiments sprechen allerdings gegen diese Strategie. Es zeigen sich bei keiner Vp Augenbewegungen im EEG während eines Durchgangs. Eine andere mögliche Strategie wurde in der Tat von einigen Vpn nach dem Experiment genannt. Sie berichteten, bei der Betrachtung des Bildschirms den Fokus der Augenlinse zunehmend unscharf zu stellen, um so die globale Zielbewegung besser detektieren zu können. Der Einfluss einer solchen gezielt herbeigeführten Änderung der Sehschärfe auf die Detektionsleistung kann an dieser Stelle nicht abgeschätzt werden. Zudem wurden Informationen über die möglicherweise unterschiedlichen Strategien der Vpn nicht systematisch erhoben, so dass die Auswirkung von Strategien nicht näher untersucht werden kann.

5.4.2 Ereigniskorrelierte Potentiale

In Experiment 3 konnten vier distinkte Komponenten in unterschiedlichen Zeitbereichen des Distraktor-EKP identifiziert werden: eine posteriore bewegungsevozierte N200 im Zeitbereich 150 – 200 ms, eine Negativierung frontaler Topographie („Nf“) im Zeitbereich 220 – 270 ms, eine parietale P300 im Zeitbereich 350 – 400 ms und eine Positivierung mit fronto-zentraler Topographie (P3a) im Zeitbereich 400 – 450 ms. Die N200 und P300 wurden bereits von Niedeggen et al. (2002) für das Zielreiz-EKP im Motion Blindness Paradigma nachgewiesen. In der Diplomarbeit von Mihail (2002) finden sich für das Distraktor-EKP ebenfalls die N200 und P300 sowie die Beschreibung einer Negativierung mit frontaler Topographie in einem der „Nf“ vergleichbaren Zeitbereich. Im folgenden werden die vier ermittelten Komponenten sowie der Einfluss der zuvor präsentierten Distraktoren auf ihre Amplitude ausführlich diskutiert.

Die bewegungsevozierte N200 im Distraktor-EKP

Für die bewegungsevozierte N200 im Distraktor-EKP zeigt sich lediglich deskriptiv eine Abnahme der Amplitude mit zunehmender Anzahl an Distraktorbewegungen, die zuvor in der globalen Sequenz dargeboten werden. Insgesamt nimmt die Amplitude der N200 um ca. 20% ab, wenn sechs Distraktoren zuvor präsentiert werden. Diese Abnahme der N200 lässt sich als Adaptationseffekt interpretieren (Bach & Ullrich, 1994). Alternativ kann angenommen werden, dass es sich um einen Effekt der visuellen Aufmerksamkeit handelt. Es ist denkbar, dass den Distraktoren im Verlauf einer Sequenz weniger Aufmerksamkeitskapazität

zugewiesen wird. Ein Einfluss der visuellen Aufmerksamkeit auf die Amplitude der N200 konnte in unterschiedlichen Studien bereits nachgewiesen werden (Valdes-Sosa et al., 1998; Wang, Jin, Xiao, Fan & Chen, 1999). Allerdings erscheint die - nicht signifikante - Reduktion der N200 im vorliegenden Experiment als zu gering, um in einem Zusammenhang mit dem Effekt der Motion Blindness interpretiert zu werden.

Die frontale Negativierung („Nf“) im EKP von Distraktor D6

Die frontale Negativierung („Nf“) ist kennzeichnend für das EKP des Distraktors D6, dem sechs Distraktoren in der globalen Sequenz vorhergehen. Zwar zeigt sich bereits für den Distraktor D3 eine weniger positive bzw. negativere Amplitude an frontalen Clustern als im EKP des Distraktors D0, eine stabile frontale Topographie der „Nf“ ergibt sich jedoch nur für Distraktor D6. Das Ergebnis eines linearen Trends deutet an, dass sich die negative Amplitude der „Nf“ möglicherweise in Abhängigkeit von der Distraktoranzahl zunehmend entwickelt.

Eine Interpretation der „Nf“ ist an diesem Punkt der vorliegenden Arbeit nicht möglich. Einerseits ist es denkbar, dass die „Nf“ im Zusammenhang mit der von Sahraie et al. (2001) postulierten Inhibition steht, die sich aufgrund von nicht zu beachtenden Distraktoren aufbaut. Für diese Annahme spricht das Ergebnis, dass sich die „Nf“ nur für den Distraktor D6 zeigt, dem sechs Distraktorbewegungen vorhergehen. Andererseits ist es möglich, dass sich die „Nf“ auch in einer veränderten Versuchsbedingung ergibt, in der die kohärenten Bewegungen der globalen Sequenz keine Distraktoren darstellen, sondern von den Vpn beachtet werden sollen. So führten Sahraie et al. (2001) ein Kontrollexperiment zur Motion Blindness durch, in dem die Vpn die Richtung der jeweils letzten kohärenten Bewegung einer globalen Sequenz angeben sollten, ohne auf den roten Hinweisreiz in der lokalen Sequenz zu warten. In diesem Fall kam es nicht zur Motion Blindness, weil – so die Schlussfolgerung der Autoren – keine Notwendigkeit zur Inhibition der globalen Bewegungen (hier: „beachtete Distraktoren“) bestand. Zeigte sich in dieser Bedingung eine „Nf“ wie im vorliegenden Experiment, so wäre auszuschließen, dass die frontale Negativierung einen Prozess der Inhibition widerspiegelt. In diesem Fall könnte die „Nf“ vielmehr als Komponente verstanden werden, deren negative Amplitude die Anzahl dargebotener Distraktoren kodiert.

Um eine Interpretation der „Nf“ zu ermöglichen, ist folglich eine weitere Untersuchung notwendig, in der die kohärenten Bewegungen der globalen Sequenz nicht allein Distraktoren im bisherigen Sinne des Motion Blindness Paradigmas darstellen. Entsprechende Variationen des Paradigmas sind für Experiment 4 der vorliegenden Arbeit vorgesehen.

Die parietale P300 im Distraktor-EKP

Die parietale P300 im Distraktor-EKP zeigt eine deutliche Abnahme der Amplitude für die Distraktoren D3 und D6 im Vergleich zum Distraktor D0. Dabei nimmt die Amplitude für den Distraktor D6 um ca. 50% ab. Die Ergebnisse von Experiment 3 belegen also eine Abhängigkeit der P300 von der Anzahl an zuvor präsentierten Distraktoren.

Nach Donchin (1981) spiegelt die parietale P300 den Prozess des *context updating* wider. Aufgabenrelevante Reize, die unerwartet oder neuartig sind und somit nicht zu dem aktuellen Konzept der Umwelt passen, führen nach dieser Ansicht zu einer Aktualisierung des Konzepts. Dabei zeigen sich typischerweise größere P300 Amplituden je tiefgreifender die erforderliche Aktualisierung bzw. das *context updating* im Arbeitsgedächtnis ist (Donchin, 1981; Donchin & Coles, 1998). Im Rahmen dieser Interpretation der P300 ergibt sich somit die Schlussfolgerung, dass der Distraktor D0 – bei welchem es sich um den ersten Distraktor in der globalen Sequenz handelt – zu einem ausgeprägteren Aktualisierungsprozess führt als die Distraktoren D3 und D6, denen drei bzw. sechs Distraktoren in der Sequenz vorhergehen. Denkbar ist, dass zu Beginn eines Durchgangs das Konzept „lokaler Farbwechsel“ vorherrschend ist. Mit der Darbietung des Distraktors D0 muss eine Aktualisierung dieses Konzepts erfolgen (etwa: „lokaler Farbwechsel mit globalen Distraktoren“). Da bei der Darbietung der Distraktoren D3 und D6 diese Aktualisierung bereits stattgefunden hat, ergibt sich für diese Distraktoren eine geringere Amplitude der *context updating* P300.

Verleger (1988) stellt der Hypothese des *context updating* von Donchin (1981) die *context closure* Hypothese für die Interpretation der P300 gegenüber. Seiner Hypothese zufolge wird die P300 durch erwartete Ereignisse in repetitiven und hochgradig strukturierten Aufgaben ausgelöst. Nach Verleger (1988) fassen Vpn sukzessive Stimuli zu einer größeren Einheit bzw. einem Kontext oder Konzept zusammen. Aufgabenrelevante Reize, die einen solchen Kontext abschliessen, lösen eine *context closure* P300 aus. Verleger (1988) spricht davon, dass diese Reize eine „perzeptuelle Epoche beenden“. Im Unterschied zur *context updating*

Hypothese geht Verleger (1988, 1998) also davon aus, dass der P300 auslösende Stimulus durchaus erwartet wird. In der Tat konnten die Distraktoren im vorliegenden Experiment von den Vpn erwartet werden. Schließlich wurden in 360 von 384 Durchgängen Distraktoren dargeboten. Im Rahmen der *context closure* Hypothese zeigt die Abnahme der P300 also, dass der Distraktor D0 bereits die „perzeptuelle Epoche“ des lokalen Farbwechsels abschließt - oder: die Erwartung eines Distraktors beendet -, während die Distraktoren D3 und D6 diesen Prozess nur noch auf geringerem Niveau auslösen.

Problematisch erscheint jedoch, dass Distraktoren im vorliegenden Paradigma überhaupt eine parietale P300 auslösen. Typischerweise wird die „klassische“ parietale P300 Komponente (Sutton et al., 1965) nur durch aufgabenrelevante, beachtete Reize ausgelöst (Donchin, 1979; Verleger, Jaskowski & Wauschkuhn, 1994). Möglicherweise lässt sich dieser Widerspruch durch die Besonderheit des Motion Blindness Paradigmas lösen. Die globale Sequenz, in dem die Distraktoren dargeboten werden, stellt einen Informationskanal dar, der zunächst irrelevant, dann aber relevant für die Detektion des Zielreizes ist. In diesem Sinne stellen die Distraktorbewegungen gewissermaßen „potentiell aufgabenrelevante“ Reize dar. Zudem werden sowohl die Distraktoren als auch die Zielreize durch kohärente Bewegungen des Zufallspunkt-Kinematogramms definiert.

Eine alternative Interpretation für die beobachtete Abnahme der P300 Amplitude stellt die Annahme eines Einflusses der visuellen Aufmerksamkeit dar. Möglicherweise stehen zur Verarbeitung der Distraktoren D3 und D6 weniger Ressourcen zur Verfügung, was zu einer verringerten P300 führt (Übersicht bei Kok, 1997). So konnte eine Modulation der P300 für den Attentional Blink Effekt nachgewiesen werden (Kranzioch et al., 2003; McArthur, Budd & Michie, 1999; Vogel et al., 1998). Das Ressourcenmodell steht allerdings nicht im Widerspruch zur Annahme eines verminderten *context updating* Prozesses.

Eine grundsätzlich unterschiedliche Interpretation der P300 Abnahme ergibt sich auf einer physiologischen Ebene. Im vorliegenden Experiment folgen die P300 auslösenden Reize in rascher Folge aufeinander. Es ist zum einen denkbar, dass sich in der Abnahme der P300 die elektrophysiologische Refraktärperiode der P300 manifestiert (Woods, Courchesne, Hillyard & Galambos, 1980a/b). Zum anderen gehen verschiedene Autoren davon aus, dass es im Verlauf der P300 zu einer kortikalen Inhibition kommt (Rockstroh et al., 1992; Woodward, Brown, Marsh & Dawson, 1991). Folglich könnte die Abnahme der P300 darauf

zurückgehen, dass eine bereits ausgelöste P300 die jeweils nachfolgenden P300 Komponenten vermindert. Zwar konnten Johnson und Donchin (1985) nachweisen, dass unverminderte P300 Komponenten unter bestimmten Umständen bereits nach ca. 300 ms evoziert werden können, ein Einfluss der physiologischen Parameter der P300 auf die Abnahme der Amplitude lässt sich jedoch an dieser Stelle nicht vollständig ausschließen.

Die fronto-zentrale Positivierung (P3a) im EKP von Distraktor D0

Die fronto-zentrale Positivierung findet sich nur im EKP des Distraktors D0, dem keine Distraktoren in der globalen Sequenz vorhergehen. Der topographische Schwerpunkt dieser Positivierung unterscheidet sich deutlich vom parietalen Fokus der P300. Die fronto-zentrale Positivierung folgt zeitlich auf die P300. Im EKP der Distraktoren D3 und D6 hat sich in diesem Zeitbereich die parietale Positivierung bereits zurückgebildet.

Fronto-zentrale Positivierungen mit einer Latenz zwischen 250 und 500 ms werden in unterschiedlichen Paradigmen hervorgerufen. Es wird angenommen, dass es sich bei den fronto-zentralen „P3“ Komponenten um eigenständige Positivierungen handelt, die sich funktional von der parietalen P300 unterscheiden (Picton & Stuss, 1980; Verleger, 1988; Dien et al., 2004). Im folgenden soll versucht werden, die fronto-zentrale „P3“ des vorliegenden Experiments von anderen frontalen Positivierungen abzugrenzen und zu interpretieren.

Squires, Squires und Hillyard (1975) berichteten eine Positivierung frontaler Topographie mit einer Latenz von ca. 250 ms, die gleichermaßen durch beachtete und nicht beachtete Stimuli hervorgerufen wird. Die Vpn hörten in dem Experiment eine Reihe von gleichen Pieptönen. Ein seltener, unvorhersehbarer Anstieg bezüglich der Frequenz oder Lautstärke führte zu einer fronto-zentralen Positivierung, unabhängig davon, ob die Vpn die Abfolge der Reize beachteten oder nicht. Squires et al. (1975) benannten diese Positivierung als „P3a“, um sie gegen die von Sutton et al. (1965) erstmals beschriebene, parietale P300 abzugrenzen, welche sie als „P3b“ bezeichneten. Eine P3b bzw. P300 zeigte sich bei Squires et al. (1975) nur dann für seltene Reize, wenn entweder die seltenen oder die häufigen Reize gezählt werden sollten. Dieses Vorgehen entspricht dem sogenannten *oddball* Paradigma (Duncan-Johnson & Donchin, 1977). Squires et al. (1975) folgerten, dass sich die P3a immer dann zeigt, wenn ein Reiz qualitativ aus dem dargebotenen Stimulus herausfällt.

Courchesne, Hillyard und Galambos (1975) konnten in der visuellen Modalität nachweisen, dass unangekündigte, neuartige Stimuli zu einer fronto-zentralen Positivierung mit einer Latenz von ca. 360 ms führen. Hier wurden den Vpn die Ziffern „2“ und „4“ auf dem Bildschirm dargeboten, wobei die „4“er gezählt und die selteneren „2“er nicht beachtet werden sollten. Ab und zu wurden Ablenkreize dargeboten, auf die nicht reagiert werden sollte. Bei den Ablenkreizen handelte es sich entweder um einfache geometrische Formen oder komplexe, farbige Muster („neuartige“ Stimuli). Eine fronto-zentrale Positivierung ergab sich nur bei der Darbietung der neuartigen Stimuli („novels-P3“ bzw. „novelty-P3“). Courchesne (1978) konnte zeigen, dass sich bei mehrfacher Darbietung dieser Stimuli die fronto-zentrale novelty-P3 zu einer parietalen P300 wandelt. Nach der Ansicht von Courchesne et al. (1975) kommt es zu einer fronto-zentralen Positivierung, wenn ein Stimulus dargeboten wird, der zunächst nicht kategorisiert werden kann.

Beide Positivierungen wurden von Simons, Graham, Miles und Chen (2001) repliziert. Die in dieser Studie durchgeführte Faktorenanalyse (principal component analysis, PCA) der elektrophysiologischen Potentiale belegt jedoch keine Unterschiede zwischen der P3a und der novelty-P3 (siehe auch Spencer, Dien & Donchin, 2001). In der Tat verwenden mehrere Autoren beide Bezeichnungen synonym für fronto-zentrale Positivierungen zwischen 250 und 500 ms auf abweichende oder unerwartete Reize (Übersicht bei Friedman, Cycowicz & Gaeta, 2001). Knight und Scabini (1998) sprechen von der „novelty-P3a“ und sehen diese im Zusammenhang mit der unwillkürlichen Detektion neuartiger Reize. Diese Annahme ist vereinbar mit der Schlussfolgerung von Rockstroh, Elbert, Canavan, Lutzenberger und Birbaumer (1989), dass die P3a einen grundlegenden Mechanismus zur Kategorisierung und Bewertung neuartiger bzw. abweichender Stimuli im Sinne einer passiven Aufmerksamkeitszuwendung abbildet. Dien et al. (2004) weisen jedoch darauf hin, dass die „Neuartigkeit“ von Stimuli ein zwar hinreichendes, aber nicht notwendiges Kriterium zur Auslösung einer frontalen Positivierung darstellt. Aus diesem Grund soll die fronto-zentrale „P3“ des vorliegenden Experiments als P3a anstatt als novelty-P3a bezeichnet werden.

Im Motion Blindness Paradigma kann der Distraktor D0 als der erste Distraktor einer Sequenz durchaus als ein abweichender Reiz gelten. Er beendet die erste Phase eines Durchgangs, in der ausschließlich der lokale Farbwechsel und das Rauschen des Zufallspunkt-Kinematogramms dargeboten werden. Durch den randomisierten Zeitpunkt der Darbietung ist der Distraktor D0 zudem für die Vpn zeitlich nicht genau vorhersehbar. Somit erscheint es

denkbar, dass der Distraktor D0 eine fronto-zentrale P3a als Ausdruck einer unwillkürlichen Detektion bzw. Aufmerksamkeitszuwendung auslöst. Da die Distraktoren D3 und D6 keine vergleichbare Qualität als abweichende Reize besitzen wie der Distraktor D0, lösen diese hingegen keine fronto-zentrale Positivierung aus. Alternativ kann hier – wie für die parietale P300 – angenommen werden, dass die Abnahme der P3a allein mit physiologischen Prozessen, etwa mit einer elektrophysiologischen Refraktärperiode, in Zusammenhang steht.

Problematisch erscheint die Abfolge der Positivierungen im EKP des Distraktors D0. Die parietale P300 geht hier der fronto-zentralen P3a um ca. 50 ms voraus. Dies widerspricht den Befunden, dass vielmehr die P3a der parietalen P300 bzw. P3b in der Regel um mindestens 50 ms vorausgeht (Knight & Scabini, 1998; Rösler, Clausen & Sojka, 1986). Aufzulösen ist dieser Widerspruch, wenn man nicht von einer scharfen Trennung der beiden Komponenten ausgeht. Verleger et al. (1994) sowie Friedman et al. (2001) nehmen Mischformen der fronto-zentralen P3a und parietalen P300 an, welche den unterschiedlichen Topographien in verschiedenen Paradigmen zugrunde liegen. Zu welchen Zeitpunkten die beiden Positivierungen im EKP des Distraktors D0 beginnen und sich aufspalten, lässt sich aufgrund der vorliegenden Auswertung nicht ermitteln. Festzuhalten ist jedoch, dass die fronto-zentrale P3a später abklingt als die P300 und die Topographie im Zeitbereich um 400 ms dominiert.

Abzugrenzen ist die fronto-zentrale Positivierung aus Experiment 3 von der NoGo-P3. Im Go/NoGo Paradigma – auf Reiz A soll reagiert werden (Go), auf Reiz B nicht (NoGo), bei zufälliger Abfolge der Reize – findet sich nach der Darbietung des NoGo Stimulus eine Positivierung mit fronto-zentralem Maximum und einer Latenz von ca. 300 - 500 ms (Eimer, 1993; Falkenstein, Hoormann & Hohnsbein, 1999; Simson, Vaughan & Ritter, 1977). Pfefferbaum, Ford, Weller und Kopell (1985) konnten nachweisen, dass die NoGo-P3 auch ausgelöst wird, wenn keine manuelle Reaktion auf den „Go“ Reiz erforderlich ist. Es bestehen dennoch wesentliche Unterschiede zwischen den beiden experimentellen Paradigmen. Im Motion Blindness Paradigma sind mit den Distraktoren keine unterschiedlichen Anweisungen verbunden: alle Distraktoren sollen gleichermaßen nicht beachtet werden. Im Go/NoGo hingegen müssen alle dargebotenen Reize beachtet werden, um die entsprechende Reaktion ausführen zu können bzw. zu unterlassen. Es erscheint nicht sinnvoll, die fronto-zentrale Positivierung im EKP des Distraktors D0 im Sinne einer NoGo-P3 zu verstehen.

5.5 Zusammenfassung

Die Verhaltensdaten aus Experiment 3 belegen, dass sich in beiden Blöcken des Experiments der Motion Blindness Effekt zeigt. Der Effekt kann somit nicht auf eine anfängliche Unvertrautheit der Vpn mit der schnellen Reizabfolge zurückgeführt werden. Die deskriptiv höhere Detektionsleistung in Block 2 weist allerdings auf einen Übungseffekt hin. Weiterhin deuten die Ergebnisse einen linearen Zusammenhang zwischen der Distraktoranzahl und der Detektionsleistung an.

Im Distraktor-EKP finden sich für alle untersuchten Distraktoren eine bewegungsevozierte, posteriore N200 und eine parietale P300. Die Amplitude der N200 wird nur geringfügig von der Anzahl an zuvor präsentierten Distraktoren im Sinne eines Adaptationseffekts moduliert. Für die P300 des Distraktor-EKP ergibt sich hingegen eine deutliche Abnahme der Amplitude, wenn mehrere Distraktoren zuvor dargeboten werden. Dieser Befund spricht für einen verminderten Aktualisierungsprozess (*context updating*) im Arbeitsgedächtnis für die späteren Distraktoren einer Sequenz. Eine zeitlich auf die P300 folgende, fronto-zentrale Positivierung (P3a) findet sich allein im EKP des Distraktors, dem keine Distraktoren in der Sequenz vorhergehen. Die P3a deutet an, dass der erste Distraktor der Sequenz insbesondere als abweichender Reiz verarbeitet wird. Im EKP des Distraktors, dem sechs Distraktoren vorhergehen, zeigt sich eine Negativierung mit frontaler Topographie („Nf“), die möglicherweise mit der von Sahraie et al. (2001) postulierten Inhibition in Zusammenhang steht. Um alternative Interpretationen der „Nf“ auszuschließen, bedarf es eines weiteren Experiments.

6 Experiment 4

Besteht ein Zusammenhang zwischen der frontalen Negativierung („Nf“) und der Distraktor-Inhibition im Motion Blindness Paradigma?

6.1 Einleitung

In Experiment 4 sollte untersucht werden, ob ein funktionaler Zusammenhang besteht zwischen der in Experiment 3 berichteten frontalen Negativierung („Nf“) im Distraktor-EKP und der von Sahraie et al. (2001) postulierten Inhibition. Der Hintergrund für diese Fragestellung ist im folgenden dargestellt.

6.1.1 Die frontale Negativierung („Nf“) und die Distraktor-Inhibition

Das Erklärungsmodell des Motion Blindness Effekts von Sahraie et al. (2001) geht von einer Inhibition aus, die sich aufgrund der Darbietung von Distraktorbewegungen aufbaut und in der Folge zu einer verminderten Detektion der Zielbewegung führt. In Experiment 2 der vorliegenden Arbeit wurde nachgewiesen, dass die Detektionsleistung – und im Sinne des Modells: die Inhibition – abhängig ist von der Anzahl der dargebotenen Distraktoren. In Experiment 3 zeigte sich im EKP auf einen Distraktor, dem sechs Distraktoren in der Reizsequenz vorhergingen, eine Negativierung mit frontaler Topographie („Nf“). Die Ergebnisse deuteten eine Entwicklung der „Nf“ mit zunehmender Distraktoranzahl an. Aufgrund der Befunde wurde die Möglichkeit diskutiert, dass die „Nf“ im Zusammenhang mit der postulierten Inhibition steht. Alternativ kann jedoch angenommen werden, dass es sich bei der „Nf“ um eine aufgabenunspezifische Komponente handelt, die z.B. die Anzahl bereits dargebotener kohärenter Bewegungen kodiert, unabhängig davon, ob es sich um nicht zu beachtende Distraktoren oder beachtete Reize handelt. Um diese alternative Interpretation der „Nf“ auszuschließen, muss der Nachweis erbracht werden, dass sich die „Nf“ nur dann mit zunehmender Anzahl dargebotener Bewegungen aufbaut, wenn es sich laut Instruktion um Distraktorbewegungen handelt. Folglich ist es in Experiment 4 notwendig, experimentelle Variationen des Motion Blindness Paradigmas zu untersuchen, in denen die kohärenten

Bewegungen der globalen Sequenz nicht als Distraktoren im Sinne des Standard-Paradigmas gelten können*.

Für eine funktionale Eingrenzung der „Nf“ erscheinen nur solche experimentelle Variationen des Motion Blindness Paradigmas geeignet, die sich im Hinblick auf die physikalischen Stimulusparameter nicht vom Standard-Paradigma unterscheiden. Schließlich ist es das Ziel von Experiment 4, die aufgabenspezifische (genauer: distraktor-spezifische) Entwicklung der „Nf“ nachzuweisen. Die experimentellen Variationen sollten sich also vor allem in den Instruktionen der Vpn unterscheiden, bei möglichst konstanter physikalischer Stimulation. So konnten bereits Sahraie et al. (2001) zeigen, dass es mit der veränderten Instruktion: „Geben Sie die Richtung der letzten kohärenten Bewegung an“ nicht zur Motion Blindness kommt, da – so die Modellvorstellung – in diesem Fall die kohärenten Bewegungen keine Distraktoren darstellen. Zeigte sich in dieser Bedingung eine Entwicklung der „Nf“ mit zunehmender Distraktoranzahl, so könnte nicht länger davon ausgegangen werden, dass die „Nf“ einen inhibitorischen Prozess widerspiegelt. Eine weitere denkbare Variation des Paradigmas besteht darin, mit Hilfe einer geeigneten Instruktion die kohärenten Bewegungen der globalen Sequenz als vollkommen irrelevante Reize zu definieren, die für die Bearbeitung der Aufgabe nicht von Bedeutung sind. In diesem Fall dürfte sich ebenfalls keine zunehmende „Nf“ zeigen, wenn die „Nf“ in einem Zusammenhang mit einem inhibitorischen Prozess steht.

Kennzeichnend für das Standard-Paradigma ist der mit Hilfe der Instruktion vorgegebene Wechsel der Aufmerksamkeitszuwendung von der lokalen zur globalen Sequenz, um den Hinweisreiz (lokal) und den anschließenden Zielreiz (global) zu entdecken. Zwei experimentelle Variationen könnten also darin bestehen, sowohl den Hinweisreiz als auch den Zielreiz in jeweils einer der beiden Sequenzen zu definieren. In einer Bedingung „Lokal“ würde es sich bei den kohärenten Bewegungen der globalen Sequenz um für die Bearbeitung der Aufgabe gänzlich irrelevante Reize handeln. In einer Bedingung „Global“ hingegen würden die globalen Bewegungen durchgehend beachtete Reize darstellen. Mit Hilfe des Standard-Paradigmas und der beiden beschriebenen Variationen soll in Experiment 4 in erster Linie die Entwicklung der „Nf“ mit zunehmender Anzahl kohärenter Bewegungen untersucht werden. Desweiteren soll überprüft werden, welcher Einfluss sich auf die in Experiment 3

* Siehe dazu die Anmerkung von Rösler (1988) im Rahmen der P300 Diskussion: „However, he neglects to mention one further criterion, which in combination with two others – latency and topography – is the most important one for functionally disentangling distinct generators: This is the observation that different components are affected by various experimental manipulations differently.” (Seite 393)

identifizierten Komponenten des Distraktor-EKP in Abhängigkeit von der Anzahl zuvor dargebotener Bewegungen in den unterschiedlichen Bedingungen zeigt. Eine mögliche Modulation der sensorischen N200 sowie der späten Positivierungen kann zusätzliche, wichtige Hinweise für die Wirkungsweise der postulierten Inhibition im Motion Blindness Paradigma liefern.

6.1.1 Fragestellung und Hypothese

Um zu überprüfen, ob es sich bei der in Experiment 3 beschriebenen „Nf“ im Distraktor-EKP um eine aufgabenspezifische Komponente handelt, die möglicherweise im Zusammenhang mit der postulierten Distraktor-Inhibition steht, sollte in Experiment 4 die Modulation der „Nf“ mit zunehmender Distraktoranzahl zusätzlich zum Standard-Paradigma in zwei Variationen des Paradigmas untersucht werden. In den beiden Variationen des Paradigmas handelt es sich bei den kohärenten Bewegungen der globalen Sequenz nicht um Distraktoren im Sinne des Motion Blindness Paradigmas*.

Wenn die „Nf“ im Zusammenhang mit der von Sahraie et al. (2001) postulierten Inhibition steht, dann sollte sich eine Entwicklung (d.h. eine zunehmende Amplitude bzw. Herausbildung einer Topographie) der „Nf“ mit steigender Anzahl kohärenter Bewegungen nur im Standard-Paradigma zeigen. Desweiteren sollte in Experiment 4 die Modulation der in Experiment 3 identifizierten Komponenten des Distraktor-EKP (N200, P300, P3a) in den unterschiedlichen Bedingungen untersucht werden. Es wird an dieser Stelle davon ausgegangen, dass sich diese Komponenten auch im EKP für die Variationen des Paradigmas zeigen.

Auf der Ebene des Verhaltens sollte der Einfluss der Distraktoren sowie des Zeitintervalls zwischen Hinweisreiz und Zielreiz (Lag) auf die Detektionsleistung für die beiden experimentellen Variationen explorativ untersucht werden. Das Standard-Paradigma sollte hier als Kontrollbedingung dienen, in der die typischen Befunde der Motion Blindness erwartet wurden.

* **Wichtige Anmerkung:** Zwar handelt es sich in den beschriebenen Variationen des Paradigmas bei den kohärenten Bewegungen der globalen Sequenz nicht um Distraktoren im Sinne des Motion Blindness Paradigmas, die Bezeichnung „Distraktor“ wird im folgenden dennoch für alle Bedingungen beibehalten. Gemeint ist immer eine kohärente Bewegung, die in der Sequenz vor dem Hinweisreiz dargeboten wird.

6.2 Methode

6.2.1 Stichprobenbeschreibung

Die Daten wurden an 19 gesunden Vpn ermittelt. Davon gingen 14 Vpn (8 weiblich) in die Auswertung ein. Der Altersdurchschnitt dieser Vpn betrug 24.43 Jahre (19 – 36 Jahre).

6.2.2 Stimulus, Aufgabe der Vpn und Operationalisierung der Variablen

Die grundlegenden Stimulusparameter finden sich im allgemeinen Methodenteil. In Experiment 4 wurden verschiedene Variationen des Motion Blindness Paradigmas untersucht, die sich vor allem bezüglich der Instruktion der Vpn unterscheiden. Im Methodenteil sollen diese auch als „Instruktionsbedingungen“ bezeichnet werden. Bei der Instruktionsbedingung „Standard“ handelt es sich um das Standard-Paradigma der Motion Blindness. Die Kohärenz des Zielreizes betrug 50%, die der Distraktoren 100%. In den Instruktionsbedingungen „Lokal“ und „Global“ wurden der Hinweisreiz und der Zielreiz in derselben Sequenz definiert. Trotz der unterschiedlichen Instruktionen sollte in allen Bedingungen während der gesamten Dauer eines Durchgangs der lokale Fixationspunkt fixiert werden. In Tabelle 6.1 sind die unterschiedlichen Instruktionsbedingungen zusammengefasst.

Tabelle 6.1

Die Instruktionsbedingungen in Experiment 4. Bedingung „Standard“ bezeichnet das Standard-Paradigma der Motion Blindness.

Bedingung	Hinweisreiz	Zielreiz
„Standard“	lokal (roter Fixationspunkt)	global (kohärente Bewegung)
„Lokal“	lokal (roter Fixationspunkt)	lokal (weißer Fixationspunkt)
„Global“	global (transparente Bewegung)	global (kohärente Bewegung)

In der Bedingung „Lokal“ wurden Hinweisreiz und Zielreiz in der lokalen Sequenz des Farbwechsels definiert. Ein roter Fixationspunkt diente als Hinweisreiz. Ein weißer Fixationspunkt nach dem Hinweisreiz stellte den Zielreiz dar. Weiße Fixationspunkte vor der Darbietung des Hinweisreizes sollten von den Vpn nicht beachtet werden. Es waren in dieser Bedingung keine Angaben zu den kohärenten Bewegungen der globalen Sequenz erforderlich. Somit waren die Bewegungen des Zufallspunkt-Kinematogramms in der Instruktionsbedingung „Lokal“ durchgehend irrelevant für die Bearbeitung der Aufgabe.

In der Bedingung „Global“ wurden Hinweisreiz und Zielreiz in der globalen Sequenz, also auf der Ebene des Kinematogramms, definiert. Eine transparente Bewegung der Punkte für 100 ms diente als Hinweisreiz. Dabei bewegten sich 50% der Punkte kohärent entweder nach oben oder rechts, während sich die übrigen Punkte kohärent in die entgegengesetzte Richtung bewegten. Auf diese Weise entstand der visuelle Eindruck von zwei transparenten Punkt-Flächen, die sich übereinanderbewegen (Snowden, Treue, Erickson & Andersen, 1991; Wallace & Mamassian, 2003). Sahraie et al. (2001) konnten nachweisen, dass eine vergleichbare transparente Bewegung als Zielreiz im Motion Blindness Paradigma mit hoher Trefferquote entdeckt werden kann. Als Zielreiz diente in der Bedingung „Global“ eine kohärente Bewegung der Punkte in eine der vier Hauptrichtungen. Die kohärenten Bewegungen in dieser Instruktionsbedingung waren somit durchgehend relevant für die Bearbeitung der Aufgabe.

In jeder Instruktionsbedingung wurden entweder keine oder eine mittlere Anzahl von acht Distraktoren dargeboten (UV1). Die genaue Anzahl der Distraktoren (6, 8, 10) richtete sich dabei nach der Position des Hinweisreizes innerhalb der Sequenz. Je später der Hinweisreiz dargeboten wurde desto mehr Distraktoren wurden verwendet, um eine vergleichbare Auftretenshäufigkeit innerhalb des Distraktor-Zeitfensters zu erzielen.

Das Zeitintervall (Lag) zwischen Hinweisreiz und Zielreiz konnte in allen Instruktionsbedingungen zwei Ausprägungen annehmen (UV2). In der Bedingung „Standard“ wurde der Zielreiz simultan mit dem Hinweisreiz oder 400 ms danach dargeboten (Lag 0 bzw. Lag 4). In den Bedingungen „Lokal“ und „Global“ war eine Darbietung des Zielreizes an Lag 0 nicht möglich, da der Hinweisreiz und der Zielreiz in derselben Sequenz präsentiert wurden. In beiden Bedingungen wurde der Zielreiz an Lag 1 oder Lag 5 dargeboten.

Jede Stimulussequenz dauerte 5000 ms. Das SOA zwischen dem letzten Distraktor und dem Hinweisreiz betrug mindestens 400 ms. Der Hinweisreiz wurde zwischen 2400 und 4000 ms nach dem Beginn der Stimulussequenz präsentiert.

Die Vpn hatten die Aufgabe, den Zielreiz zu entdecken (AV). In den Instruktionsbedingungen „Standard“ und „Global“ sollte keine Richtungsdiskrimination der Zielbewegung erfolgen.

Die Instruktionsbedingungen „Standard“, „Lokal“ und „Global“ wurden blockweise dargeboten. Dabei galt für alle Vpn die folgende Reihenfolge der Bedingungen: „Lokal“, „Standard“, „Global“. Diese Reihenfolge erschien notwendig, da die Probanden in Voruntersuchungen angaben, dass sie die kohärenten Bewegungen in der Bedingung „Lokal“ weiterhin als potentiell relevante Reize beachteten, wenn die Bedingung „Lokal“ auf die Bedingung „Global“ oder „Standard“ folgte. Jedem Block wurde ein Übungsteil individueller Dauer vorangestellt (ca. 5 Minuten).

6.2.3 Versuchsplan

Die Darbietung von Distraktoren entspricht dem Faktor „Distraktor“ mit den Stufen „ohne“ und „mit“. Das Zeitintervall zwischen Hinweisreiz und Zielreiz entspricht dem Faktor „Lag“ mit den Stufen 0 und 4 für die Instruktionsbedingung „Standard“ sowie den Stufen 1 und 5 für die Instruktionsbedingungen „Lokal“ und „Global“.

Die insgesamt zwölf Bedingungen (je 21 Durchgänge ohne Distraktoren, je 63 Durchgänge mit Distraktoren) wurden an allen 19 Vpn untersucht. In Experiment 4 handelte es sich für jede Instruktionsbedingung um einen 2-faktoriellen (2x2) Versuchsplan mit Messwiederholungen auf beiden Faktoren. Der Versuchsplan ist Tabelle 6.2 zu entnehmen.

Tabelle 6.2

Versuchsplan Experiment 4. In Klammern sind die Durchgänge pro Bedingung angegeben.

Instruktion „Standard“		
Distraktor	Lag 0	Lag 4
ohne Distraktoren	Bedingung 1 (21)	Bedingung 3 (21)
mit Distraktoren	Bedingung 2 (63)	Bedingung 4 (63)
Instruktion „Lokal“		
Distraktor	Lag 1	Lag 5
ohne Distraktoren	Bedingung 5 (21)	Bedingung 7 (21)
mit Distraktoren	Bedingung 6 (63)	Bedingung 8 (63)
Instruktion „Global“		
Distraktor	Lag 1	Lag 5
ohne Distraktoren	Bedingung 9 (21)	Bedingung 11 (21)
mit Distraktoren	Bedingung 10 (63)	Bedingung 12 (63)

Zur Erfassung von falschen Alarmen wurden in jeder Instruktionsbedingung insgesamt 84 Durchgänge (21 Durchgänge ohne Distraktoren, 63 Durchgänge mit Distraktoren) ohne Zielreiz dargeboten. Die Reihenfolge der 252 Durchgänge pro Instruktionsbedingung wurde für jede Vp randomisiert.

6.2.4 Auswertung der Psychophysik

Für alle Bedingungen wurden die Mittelwerte und Standardfehler der relativen Häufigkeiten der Zielreiz-Detektion über alle Vpn berechnet. Zusätzlich wurden die relativen Häufigkeiten der falschen Alarme ermittelt. Für jede Instruktionsbedingung wurden die Effekte der Faktoren „Distraktor“ und „Lag“ auf die Detektionsleistung mit Hilfe einer 2-faktoriellen ANOVA mit Messwiederholungen untersucht.

6.2.5 Erfassung und Verarbeitung des ereigniskorrelierten Potentials (EKP)

Die Extraktion des Distraktor-EKP erfolgte wie in Experiment 3. Allerdings wurde für die zeitliche Isolation der EKP-Distraktorbewegung vom vorhergehenden Distraktor ein variabler Zeitbereich verwendet. Dieser Zeitbereich, in dem keine Distraktoren dargeboten wurden, betrug zwischen 400 und 1000 ms mit einem Mittelwert von ca. 600 ms. In das Distraktor-EKP jeder Bedingung konnten für jede Vp maximal 63 Durchgänge eingehen. In das EKP des lokalen Farbwechsels zur Bildung des Differenzpotentials gingen ebenfalls maximal 63 Durchgänge ein (siehe Experiment 3).

Das EEG Signal wurde *offline* im Bereich von 0.53 bis 70 Hz digital gefiltert* (Steilheit des Filters: 12 dB/octave) und anschließend mit Hilfe der Triggersignale segmentiert. Die Länge der ausgewerteten Segmente betrug 1000 ms, beginnend 100 ms vor der Darbietung des Distraktors zum Zeitpunkt 0 ms. Die Baseline-Korrektur umfasste das Zeitintervall [-100..0 ms]. Augenblinzler (Maximalwerte größer als $\pm 100 \mu\text{V}$ im hEOG oder vEOG), Potentialdifferenzen zwischen zwei Messpunkten größer als $50 \mu\text{V}$, Maximalwerte größer als $\pm 50 \mu\text{V}$ sowie Flatline-Potentiale ($\leq 0.5 \mu\text{V}$ für mindestens 100 ms) wurden als Artefakte gekennzeichnet. Zusätzlich wurde eine manuelle Artefakt-Korrektur aufgrund visueller Inspektion vorgenommen. Insbesondere hochamplitudige Schwingungen größer als $\pm 25 \mu\text{V}$

* In Experiment 4 wurden andere Filterparameter verwendet als in Experiment 3. Dabei beeinflusst die Steilheit des Filters das Ergebnis zur „Nf“ (siehe Ergebnisteil).

in der Baseline wurden als Artefakte gekennzeichnet. Segmente mit Artefakten wurden von der weiteren Auswertung ausgeschlossen. Die verbleibenden Segmente wurden entsprechend den unterschiedlichen Bedingungen für jede Vp gemittelt (*averages*). Nach der Mittelung wurden die Differenzpotentiale (Distraktor-EKP *average* minus Farbwechsel-EKP *average*) für jede Vp berechnet. Die Differenzpotentiale jeder Vp wurden getrennt nach den Bedingungen zur weiteren Auswertung verwendet. Für die Darstellung der Potentiale und Topographien wurde über alle Vpn gemittelt (*grand averages*).

6.2.6 Auswertung des EKP

In Experiment 4 wurde das EKP für drei unterschiedliche Distraktorpositionen innerhalb der globalen Sequenz abgeleitet: für den ersten Distraktor, einen mittleren Distraktor und einen späten Distraktor. Im folgenden werden diese Distraktoren auch als Da, Db und Dc bezeichnet. Bei dem mittleren Distraktor handelte es sich im Mittel um den vierten Distraktor einer Sequenz. Der späte Distraktor war im Mittel der siebte Distraktor einer Sequenz. Somit handelte es sich um Distraktorbewegungen, denen kein Distraktor oder näherungsweise 3 bzw. 6 Distraktoren in der Sequenz vorhergingen (Da: erster Distraktor einer Sequenz; Db: ca. drei Distraktoren wurden vorher dargeboten; Dc: ca. sechs Distraktoren wurden vorher präsentiert). Die Anzahl der zuvor dargebotenen Distraktoren in der globalen Sequenz (0, 3, 6) entspricht den Stufen des Faktors „Distraktor“ für die inferenzstatistische Auswertung des Distraktor-EKP (UV1).

Im ersten Schritt der Auswertung wurde das Distraktor-EKP zunächst in diejenigen Zeitbereiche unterteilt, die in Experiment 3 für die Auswertung der Komponenten N200, „Nf“, P300 und P3a ermittelt wurden. Aufgrund von visueller Inspektion konnten die Zeitbereiche angepasst werden, um die Komponenten möglichst optimal zu erfassen. Eine statistische Absicherung, ob sich aufeinanderfolgende Topographien signifikant voneinander unterscheiden, wurde in Experiment 4 nicht durchgeführt.

Im zweiten Schritt wurde der Einfluss des Faktors „Distraktor“ auf die mittleren Amplituden (AV) in den unterschiedlichen Zeitbereichen untersucht. Um die Auswertung der Amplituden zu vereinfachen, wurden die 30 verwendeten Elektroden wie in Experiment 3 zu insgesamt 14 Clustern zusammengefasst. Die statistische Auswertung wurde für jeden Zeitbereich auf diejenigen Cluster beschränkt, die den topographischen Schwerpunkt der Komponente abbildeten (UV2). Für die einzelnen Zeitbereiche wurden 2-faktorielle ANOVAs (Faktoren

„Distraktor“ und „Cluster“) mit Messwiederholungen auf beiden Faktoren durchgeführt. Die Auswertung erfolgte dabei getrennt für die drei Instruktionsbedingungen „Standard“, „Lokal“ und „Global“. Topographische Unterschiede zwischen Zeitbereichen oder Bedingungen wurden ebenfalls mit messwiederholten ANOVAs untersucht. Eine detaillierte Beschreibung der inferenzstatistischen Auswertung findet sich im Methodenteil von Experiment 3.

6.3 Ergebnisse

6.3.1 Psychophysik

Der Mittelwert für falsche Alarmer – gemittelt über die sechs Bedingungen ohne Zielreiz – über 19 Vpn beträgt 12.84% ($SD = 9.77\%$). Aufgrund des Ausschlusskriteriums wurde eine Vpn mit einer Quote für falsche Alarmer von 39.69% ausgeschlossen. Weitere vier Vpn wurden aufgrund von EKP Kriterien nicht in die Auswertung aufgenommen*. Der korrigierte Mittelwert für falsche Alarmer über 14 Vpn beträgt 10.93% ($SD = 8.20\%$). In Tabelle 6.3 sind die Mittelwerte der Detektionsleistung in allen zwölf Bedingungen des Versuchsplans über 14 Vpn mit Standardfehlern dargestellt. In Abbildung 6.1 findet sich eine graphische Darstellung der Ergebnisse.

Tabelle 6.3

Mittelwerte der Detektion des Zielreizes (%) über 14 Vpn mit Standardfehlern.

„Standard“		
Distraktor	Lag 0	Lag 4
ohne Distraktoren	57.94 (5.86)	96.53 (1.59)
mit Distraktoren	29.14 (5.19)	84.24 (4.26)
„Lokal“		
Distraktor	Lag 1	Lag 5
ohne Distraktoren	90.12 (2.89)	85.71 (3.63)
mit Distraktoren	88.44 (2.90)	85.38 (3.76)
„Global“		
Distraktor	Lag 1	Lag 5
ohne Distraktoren	33.38 (6.59)	76.87 (6.87)
mit Distraktoren	30.15 (6.08)	67.87 (4.91)

* Bei einer Vp zeigte sich ein dominanter Alpha-Rhythmus im EKP, bei einer weiteren Vp fanden sich zu viele muskuläre Artefakte. Bei zwei Vpn ergaben sich technische Probleme bei der Aufnahme.

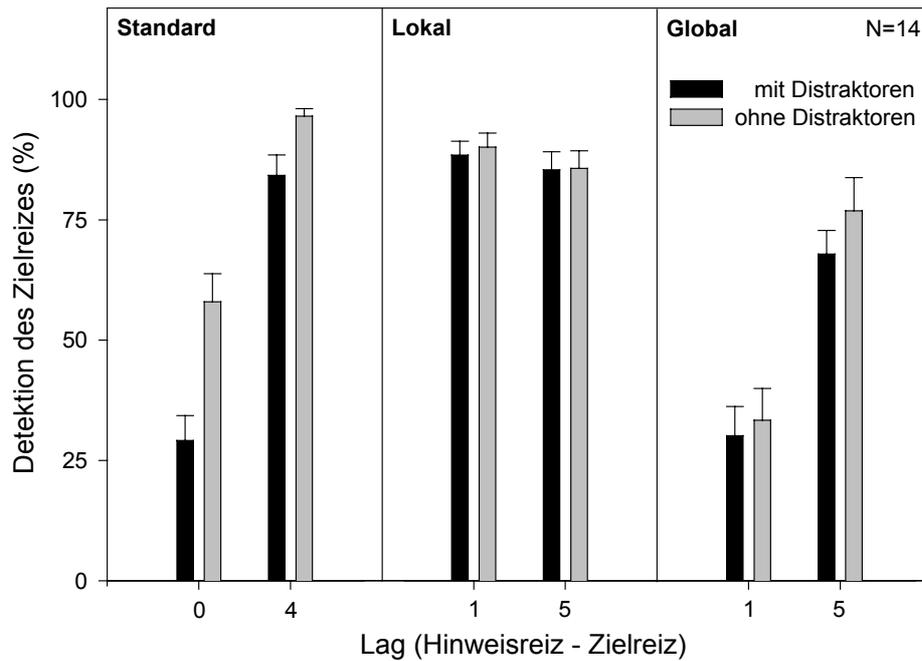


Abbildung 6.1 Detektion des Zielreizes (%) in allen Bedingungen des Versuchsplans. Mittelwerte über 14 Vpn mit Standardfehlern.

Abbildung 6.1 ist zu entnehmen, dass sich in der Bedingung „Standard“ ein deutlicher Einfluss des Lags auf die Detektionsleistung ergibt. Für Lag 0 liegt die Leistung bei 43.54%, während sie für Lag 4 90.39% beträgt. Gleichfalls zeigt sich ein Einfluss der Distraktoren. Ohne Distraktoren ergibt sich eine Detektionsleistung von 77.24%, mit Distraktoren beträgt sie 56.69%. Der Einfluss der Distraktoren erscheint für Lag 0 stärker ausgeprägt als für Lag 4 (28.80%, 12.29%). Die 2-faktorielle ANOVA mit Messwiederholungen bestätigt signifikante Effekte für beide Faktoren („Lag“: $F(1,13) = 122.38, p < .001, \eta^2 = .90$; „Distraktor“: $F(1,13) = 23.32, p < .001, \eta^2 = .64$). Die Interaktion „Lag x Distraktor“ wird signifikant ($F(1,13) = 4.91, p = .046, \eta^2 = .27$).

In der Bedingung „Lokal“ zeigt sich ein geringer Einfluss des Lags auf die Leistung. Für Lag 1 ergibt sich mit 89.28% eine geringfügig bessere Detektionsleistung als für Lag 5 mit 85.55%. Ein Einfluss der Distraktoren zeigt sich nicht. Es ergeben sich vergleichbare Leistungen für Durchgänge ohne und mit Distraktoren (87.92%, 86.91%). Die ANOVA liefert keine signifikanten Ergebnisse. Weder die Haupteffekte („Lag“: $F(1,13) = 1.64, ns, \eta^2 = .11$; „Distraktor“: $F(1,13) = 0.68, ns, \eta^2 = .05$) noch die Interaktion ($F(1,13) = 0.32, ns, \eta^2 = .02$) werden signifikant.

In der Bedingung „Global“ ergibt sich eine deutliche Abhängigkeit der Detektionsleistung vom Lag. Die Leistung für Lag 1 liegt bei 31.77%, während sie für Lag 5 72.37% beträgt. Es zeigt sich hingegen nur ein geringer Einfluss der Distraktoren. Ohne Distraktoren ergibt sich eine Detektionsleistung von 55.13%, mit Distraktoren beträgt sie 49.01%. Der Einfluss der Distraktoren erscheint für Lag 5 etwas stärker ausgeprägt als für Lag 1 (9.00%, 3.23%). Die ANOVA bestätigt einen signifikanten Effekt des Faktors „Lag“ ($F(1,13) = 21.07, p < .001, \eta^2 = .62$). Der Effekt „Distraktor“ wird hingegen nicht signifikant ($F(1,13) = 1.18, ns, \eta^2 = .08$). Ebenso ergibt sich keine signifikante Interaktion ($F(1,13) = 1.20, ns, \eta^2 = .09$).

Die mittleren Häufigkeiten für falsche Alarme betragen in den Bedingungen „Standard“, „Lokal“ und „Global“ 7.90%, 4.86% und 20.03%. In allen Bedingungen zeigt sich ein geringer Anstieg der falschen Alarme von ca. 5% für Durchgänge, in denen Distraktoren dargeboten wurden.

6.3.2 Ereigniskorrelierte Potentiale

Die Artefakt-Korrektur führte zu einem Ausschluss von ca. 23% der Segmente. In den Bedingungen „Standard“, „Lokal“ und „Global“ wurde ein vergleichbarer Anteil an Segmenten ausgeschlossen.

In Abbildung 6.2 sind die über 14 Vpn gemittelten Potentiale, die in den drei Bedingungen durch den ersten, mittleren und späten Distraktor (Da, Db, Dc) evoziert wurden, für die Cluster LPS (links posterior superior), RAS (rechts anterior superior), MFC (Mittellinie fronto-zentral) und MPO (Mittellinie parieto-okzipital) dargestellt.

Aus der Abbildung geht hervor, dass sich für die drei Versuchsbedingungen an Cluster LPS im Zeitbereich 150 – 200 ms eine Negativierung ergibt. Die topographische Darstellung der *grand averages* in Abbildung 6.3 verdeutlicht den parietalen Fokus dieser Negativierung. Zugleich deutet sich in der Topographie für die Bedingungen „Standard“ und „Lokal“ eine Lateralisierung der Negativierung nach links an. Für die Bedingung „Global“ ergibt sich hingegen eine geringe Lateralisierung nach rechts. Bei der Negativierung handelt es sich um die bewegungsevozierte N200, die in Experiment 3 für das Distraktor-EKP der „Standard“ Bedingung berichtet wurde.

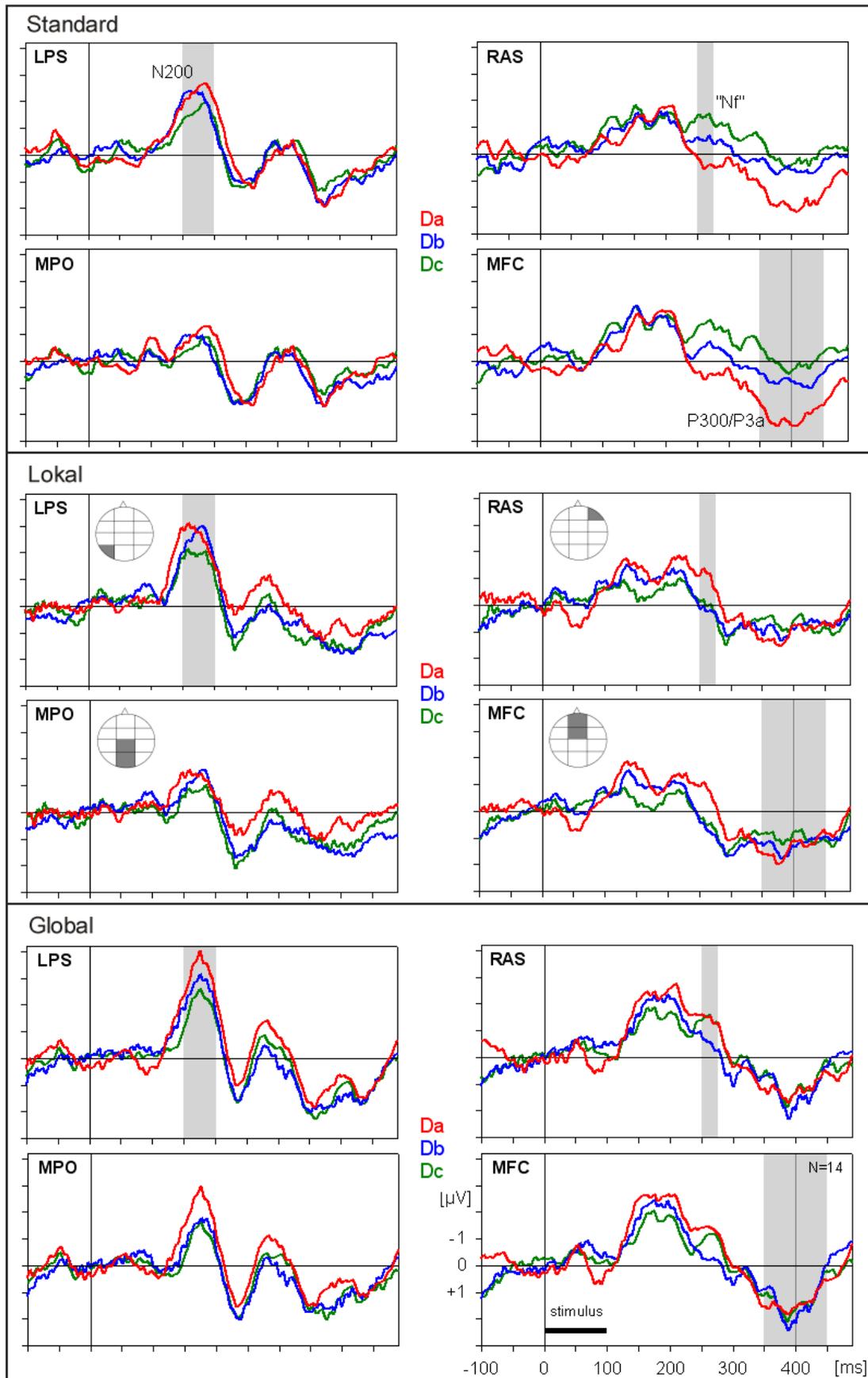


Abbildung 6.2 Grand averages über 14 Vpn für die Distraktoren Da, Db und Dc. Auf der x-Achse ist die Zeit in ms aufgetragen. Die y-Achse gibt die Amplitude des EKP in μV wieder. Der Beginn der Distraktorbewegung ist jeweils bei 0 ms („stimulus“). Grau markiert sind die Zeitbereiche der diskutierten EKP Komponenten (N200, „Nf“, P300/P3a). Dargestellt sind die drei Bedingungen „Standard“, „Lokal“ und „Global“.

Abbildung 6.2 ist zu entnehmen, dass sich im Zeitbereich 250 – 275 ms an Cluster MFC ein differenziertes Bild für die unterschiedlichen Bedingungen ergibt. Der Zeitbereich 250 – 275 ms wurde mit Hilfe von visueller Inspektion der Topographien gewählt, um die in der Bedingung „Standard“ auftretende frontale Negativierung („Nf“), die in Experiment 3 für den Zeitbereich 220 – 270 ms beschrieben wurde, in Experiment 4 optimaler zu erfassen (siehe topographische Darstellung, Abbildung 6.4). In der Bedingung „Standard“ findet sich die „Nf“ insbesondere für den späten Distraktor (Dc). In den Bedingungen „Lokal“ und „Global“ zeigt sich eine frontale Negativierung vor allem für den ersten Distraktor (Da).

Im Zeitbereich 350 – 400 ms ergibt sich für alle Bedingungen an den Clustern MPO und MFC eine ausgeprägte Positivierung. Die topographische Darstellung in Abbildung 6.5 belegt für den ersten Distraktor (Da) eine weiträumige Verteilung der Positivierung über nahezu den gesamten Skalp. Es ist davon auszugehen, dass es sich hier um eine Mischform aus fronto-zentraler P3a und parietaler P300 handelt, die in Experiment 3 für die Bedingung „Standard“ berichtet wurde. Für die Distraktoren Db und Dc bildet sich in allen Bedingungen eine deutlich parietale Positivierung heraus, bei der es sich um die in Experiment 3 bereits beschriebene P300 handelt. Im Zeitbereich 400 – 450 ms lässt sich in allen Bedingungen eine Abnahme der Positivierung an den Clustern MPO und MFC erkennen. Die topographische Darstellung in Abbildung 6.6 belegt für die Bedingung „Standard“ die Herausbildung eines fronto-zentralen Schwerpunkts der Positivierung im EKP des ersten Distraktors (Da). Es wird angenommen, dass es sich bei der fronto-zentralen Positivierung um die in Experiment 3 beschriebene P3a handelt. In den Bedingungen „Lokal“ und „Global“ ergeben sich im Vergleich mit dem Zeitbereich 350 – 400 ms nahezu keine Veränderungen (nicht dargestellt).

Im folgenden wird der Einfluss des Faktors „Distraktor“ auf das Distraktor-EKP in den drei Bedingungen „Standard“, „Lokal“ und „Global“ für die Zeitbereiche der N200, der „Nf“ sowie der P300/P3a beschrieben. Die für die Inferenzstatistik verwendeten Zeitbereiche und Cluster sind in Tabelle 6.4 zusammengefasst.

Tabelle 6.4

Die für die Inferenzstatistik ausgewählten Zeitbereiche und Komponenten des Distraktor-EKP. Für jeden Zeitbereich sind die für die ANOVA verwendeten Cluster angegeben.

Zeitbereich	Komponente	Cluster für die ANOVA
150 - 200 ms	N200	LPS, RPS (lateral posterior)
250 - 275 ms	frontale Negativierung („Nf“)	LAI, LAS, MFC, RAS, RAI (anterior)
350 - 400 ms	P300/P3a	MFC, MPO (anterior, posterior)

Modulation der N200

In Abbildung 6.3 ist der Einfluss des Faktors „Distraktor“ auf das Distraktor-EKP im Zeitbereich der N200 für die drei Versuchsbedingungen dargestellt.

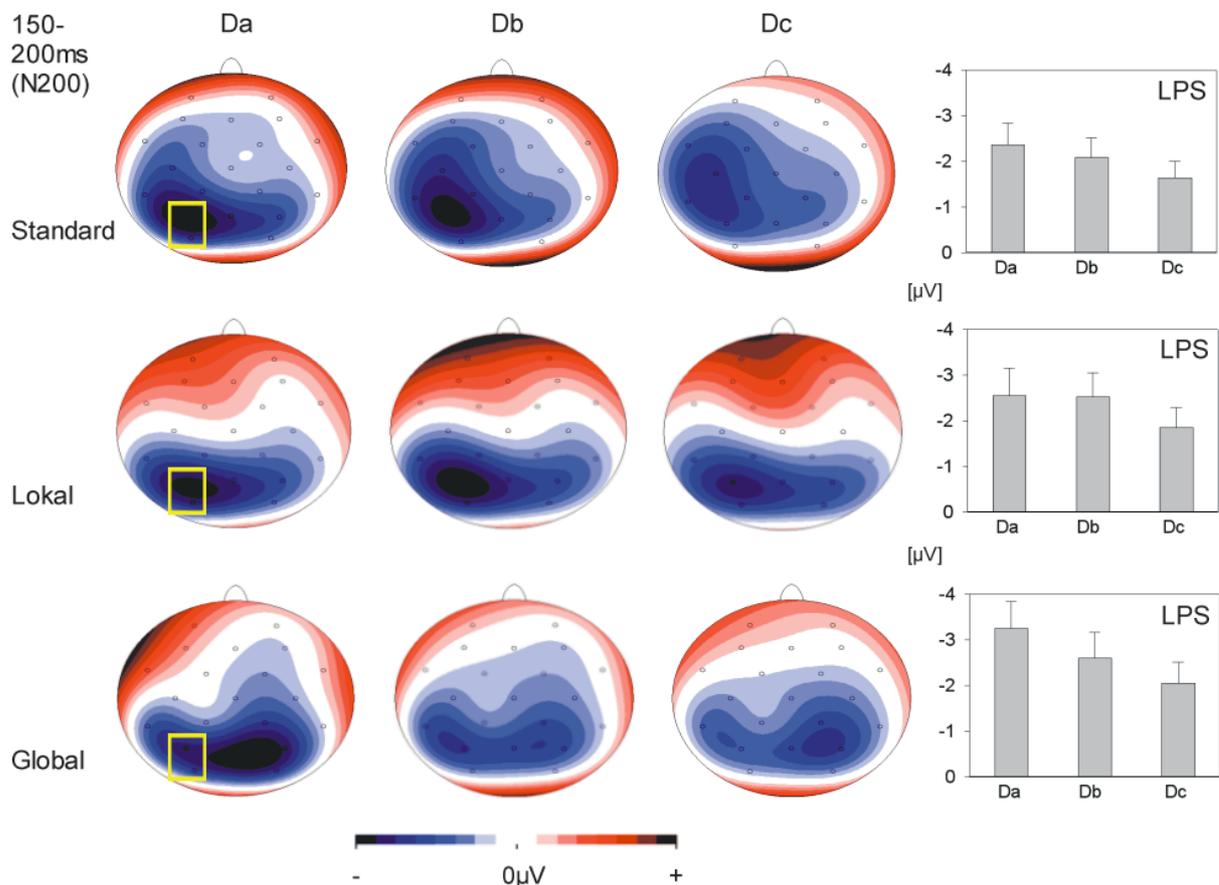


Abbildung 6.3 Topographien der *grand averages* über 14 Vpn für die Distraktoren Da, Db und Dc. Dargestellt ist der Zeitbereich der N200. Die Farbcodierung reflektiert die mittleren *average reference* Amplituden. Die Topographien sind unterschiedlich skaliert (Standard: -1.0..+1.0µV; Lokal: -1.5..+1.5µV; Global: -1.5..+1.5µV). Die Balkendiagramme stellen die *common reference* Amplituden im Cluster LPS dar. Die Position des Clusters ist durch gelbe Rahmen markiert.

Aus Abbildung 6.3 geht hervor, dass sich in keiner Versuchsbedingung ein Einfluss des Faktors „Distraktor“ auf die Topographie der N200 ergibt. Die Amplitudenwerte zeigen, dass sich in der Bedingung „Global“ eine etwas ausgeprägtere N200 findet als in den Bedingungen „Standard“ und „Lokal“. In allen Bedingungen ergibt sich im Distraktor-EKP eine geringe Abnahme der N200 Amplitude, wenn mehr Distraktoren zuvor in der globalen Sequenz präsentiert werden.

Die ANOVA liefert nur für die Bedingung „Global“ im Zeitbereich der N200 einen signifikanten Haupteffekt „Distraktor“ (siehe Tabelle 6.5). Die *a posteriori* durchgeführten,

paarweisen Vergleiche belegen eine signifikant negativere Amplitude für den ersten Distraktor (Da) im Vergleich mit dem mittleren (Db) und späten Distraktor (Dc)*. Die Interaktion „Distraktor x Cluster“ wird in keiner Bedingung signifikant.

Tabelle 6.5

Ergebnisse der 2-faktoriellen ANOVAs („Distraktor“, „Cluster“) mit Messwiederholungen für die drei Versuchsbedingungen im Zeitbereich der N200 (150 – 200 ms).

Bedingung	„Distraktor“	„Distraktor x Cluster“
„Standard“	$F(2,26) = 1.57, \tilde{\epsilon} = .93$ ns, $\eta^2 = .11$	$F(2,26) = 0.52, \tilde{\epsilon} = 1.00$ ns, $\eta^2 = .04$
„Lokal“	$F(2,26) = 2.51, \tilde{\epsilon} = 1.00$ ns, $\eta^2 = .16$	$F(2,26) = 1.48, \tilde{\epsilon} = 1.00$ ns, $\eta^2 = .10$
„Global“	$F(2,26) = 8.01, \tilde{\epsilon} = 1.00$ $p = .002, \eta^2 = .38$	$F(2,26) = 1.51, \tilde{\epsilon} = 1.00$ ns, $\eta^2 = .10$

Modulation der „Nf“

Abbildung 6.4 fasst den Einfluss des Faktors „Distraktor“ auf das Distraktor-EKP im Zeitbereich der „Nf“ für die drei Versuchsbedingungen zusammen. Es zeigt sich in der Bedingung „Standard“ ein deutlicher Einfluss des Faktors „Distraktor“ auf die Topographie. Mit steigender Distraktoranzahl entwickelt sich die frontale Topographie der „Nf“. In den Bedingungen „Lokal“ und „Global“ hingegen bildet sich mit steigender Distraktoranzahl kein neuer Schwerpunkt der Topographie heraus. Vielmehr ergeben sich nur geringe Verlagerungen der Topographie. Die ANOVA bestätigt allein für die Bedingung „Standard“ signifikant unterschiedliche Topographien für das EKP der Distraktoren Da und Dc (siehe Tabelle 6.6).

* Das Signifikanzniveau der *a posteriori* durchgeführten, paarweisen Vergleiche wurde nach Bonferroni für Mehrfachvergleiche korrigiert. Dies gilt ebenfalls für alle weiteren *a posteriori* Vergleiche in Experiment 4.

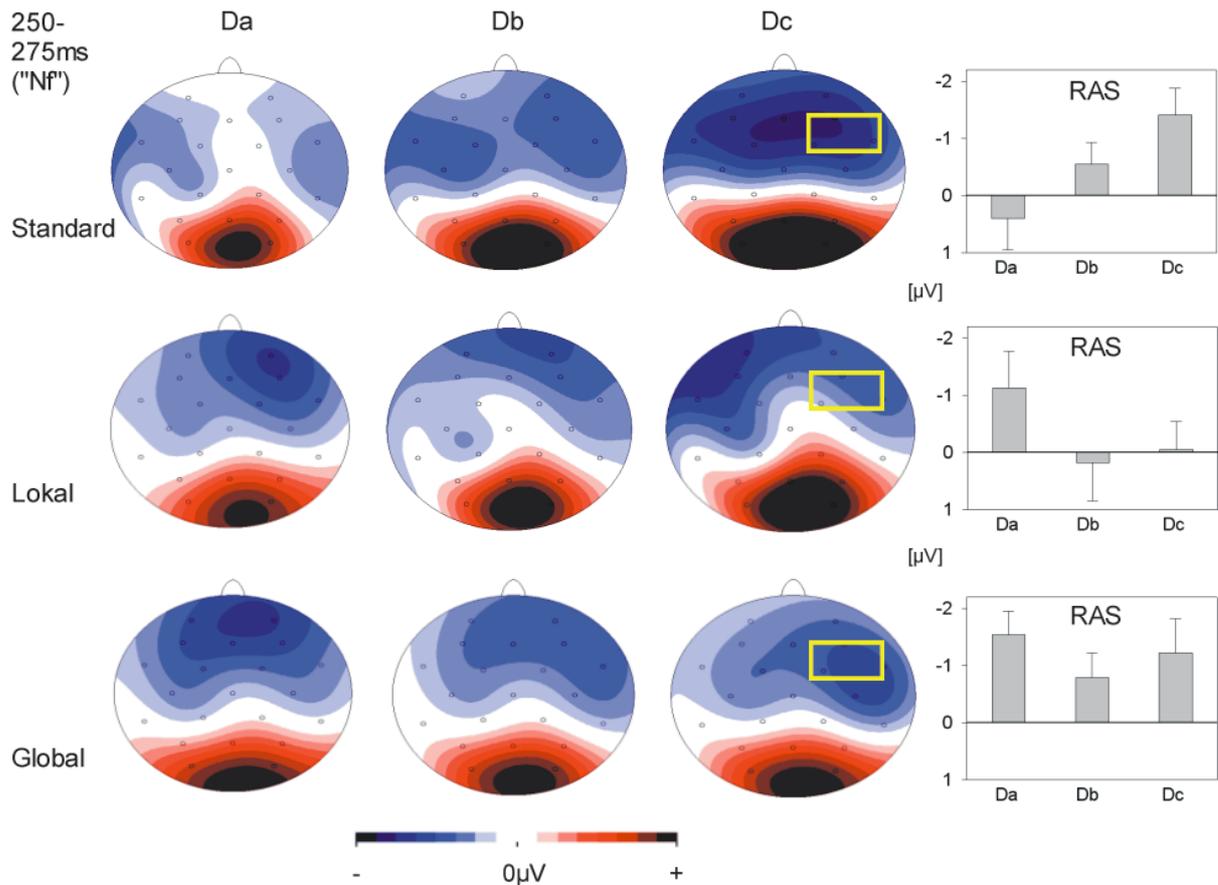


Abbildung 6.4 Topographien der *grand averages* über 14 Vpn für die Distraktoren Da, Db und Dc. Dargestellt ist der Zeitbereich der „Nf“. Die Farbcodierung reflektiert die mittleren *average reference* Amplituden. Die Topographien sind unterschiedlich skaliert (Standard: $-1.5..+1.5\mu\text{V}$; Lokal: $-1.5..+1.5\mu\text{V}$; Global: $-2.0..+2.0\mu\text{V}$). Die Balkendiagramme stellen die *common reference* Amplituden im Cluster RAS dar. Die Position des Clusters ist durch gelbe Rahmen markiert.

In der Bedingung „Standard“ findet sich an nahezu allen frontalen Clustern eine zunehmend negative Amplitude, wenn mehr Distraktoren zuvor in der globalen Sequenz präsentiert werden. Die maximalen negativen Amplituden werden dabei an Cluster RAS erreicht. In der Bedingung „Lokal“ findet sich an Cluster RAS eine ausgeprägte Negativierung für den ersten Distraktor (Da), während sich für den mittleren (Db) und späten (Dc) Distraktor nur eine geringe Negativierung ergibt. Vergleichbare Amplituden finden sich hier an allen frontalen und medialen Clustern, so dass sich für den Distraktor Da im Mittel über alle Cluster eine negative Amplitude ergibt, während sich für die Distraktoren Db und Dc im Mittel eine positive Amplitude findet. In der Bedingung „Global“ zeigt die negative Amplitude an Cluster RAS einen U-förmigen Verlauf. Insgesamt ergibt sich in dieser Bedingung an frontalen und medialen Clustern kein einheitliches Bild.

Tabelle 6.6 zeigt, dass sich im Zeitbereich der „Nf“ in den Bedingungen „Standard“ und „Lokal“ ein signifikanter Haupteffekt „Distraktor“ ergibt. Die *a posteriori* durchgeführten, paarweisen Vergleiche belegen in der Bedingung „Standard“ eine signifikant negativere

Amplitude für den späten Distraktor (Dc) im Vergleich mit dem ersten Distraktor (Da). Im Mittel über alle anterioren Cluster zeigt sich ein signifikanter, linearer Trend der negativen Amplitude mit steigender Distraktoranzahl ($F(1,13) = 9.47, p = .009, \eta^2 = .42$). Bei der Trendanalyse auf der Ebene der einzelnen Cluster wird dieses Ergebnis für alle anterioren Cluster bestätigt. In der Bedingung „Lokal“ führen die *a posteriori* Vergleiche zu keinem signifikanten Ergebnis. Unkorrigiert zeigt hier sich der Unterschied zwischen dem Distraktor Da und den Distraktoren Db und Dc signifikant.

Tabelle 6.6

Ergebnisse der 2-faktoriellen ANOVAs („Distraktor“, „Cluster“) mit Messwiederholungen für die drei Versuchsbedingungen im Zeitbereich der „Nf“ (250 – 275 ms). In der rechten Spalte aufgeführt sind die Ergebnisse des Topographie-Vergleichs für die Distraktoren Da und Dc mit z-standardisierten Amplituden.

Bedingung	„Distraktor“	„Distraktor x Cluster“	Topographie-Vergleich (Da, Dc) [„Distraktor x Cluster“]*
„Standard“	$F(2,26) = 3.76, \bar{e} = 1.00$ $p = .037^+, \eta^2 = .22$	$F(8,104) = 0.36, \bar{e} = .70$ ns, $\eta^2 = .03$	$F(13,169) = 3.96, \bar{e} = .33$ $p = .006, \eta^2 = .23$
„Lokal“	$F(2,26) = 5.21, \bar{e} = .85$ $p = .018, \eta^2 = .29$	$F(8,104) = 1.36, \bar{e} = .55$ ns, $\eta^2 = .10$	$F(13,169) = 0.66, \bar{e} = .41$ ns, $\eta^2 = .05$
„Global“	$F(2,26) = 2.63, \bar{e} = 1.00$ ns, $\eta^2 = .17$	$F(8,104) = 0.62, \bar{e} = .30$ ns, $\eta^2 = .05$	$F(13,169) = 1.33, \bar{e} = .28$ ns, $\eta^2 = .09$

Modulation der P300/P3a

In Abbildung 6.5 ist der Einfluss des Faktors „Distraktor“ auf das Distraktor-EKP im Zeitbereich der P300 (bzw. P300/P3a) für die drei Versuchsbedingungen dargestellt. In allen Versuchsbedingungen ergibt sich eine vergleichbare Entwicklung der Topographie mit steigender Distraktoranzahl. Für den Distraktor Da zeigt sich eine Positivierung über nahezu dem gesamten Skalp (P300/P3a). Für die Distraktoren Db und Dc hingegen bildet sich eine Topographie mit einem parietalen Schwerpunkt der Positivierung heraus (P300). Die ANOVA bestätigt allein für die Bedingung „Standard“ einen eindeutig signifikanten Unterschied zwischen den Topographien für die Distraktoren Da und Db (siehe Tabelle 6.7).

* In den Vergleich der Topographien gehen alle 14 Cluster ein. Für alle berechneten Vergleiche ergibt die ANOVA mit unskalierten Amplitudenwerten übereinstimmende Ergebnisse.

† Bei einer Anpassung der Filtersteilheit an den Wert aus Experiment 3 (24 dB/octave) zeigt sich der Haupteffekt nicht mehr signifikant ($F(2,26) = 2.02, \bar{e} = .99, p = .15, \eta^2 = .14$). Bei einer Anpassung des Hochpassfilters (0.5 Hz) ergibt sich weiterhin ein signifikantes Ergebnis.

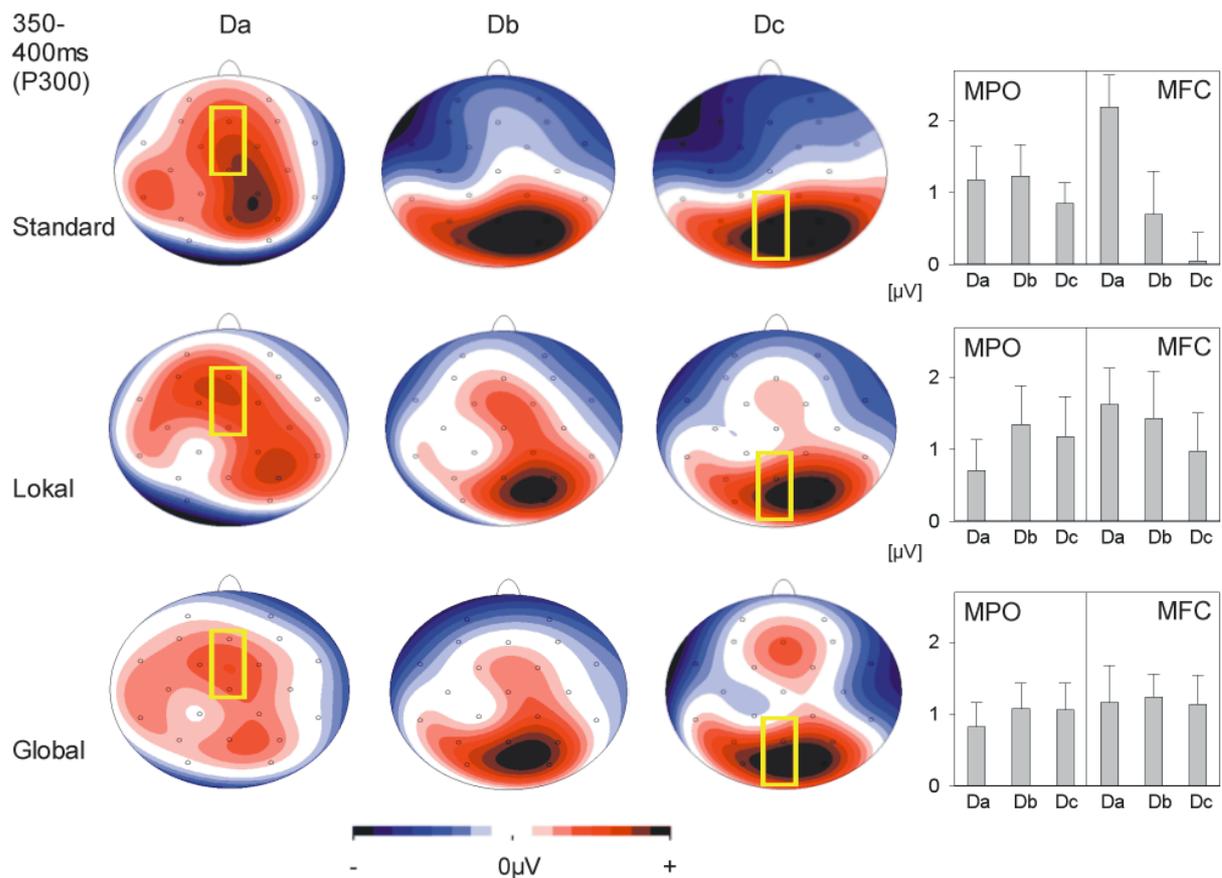


Abbildung 6.5 Topographien der *grand averages* über 14 Vpn für die Distraktoren Da, Db und Dc. Dargestellt ist der Zeitbereich der P300/P3a. Die Farbcodierung reflektiert die mittleren *average reference* Amplituden. Die Topographien sind auf $-1.0..+1.0\mu\text{V}$ skaliert. Die Balkendiagramme stellen die *common reference* Amplituden in den Clustern MPO (posterior) und MFC dar. Die Positionen der Cluster sind durch gelbe Rahmen markiert.

In der Bedingung „Standard“ findet sich an Cluster MFC eine deutliche Abnahme der positiven Amplitude für die Distraktoren Db und Dc im Vergleich mit Distraktor Da. An Cluster MPO zeigt sich hingegen nur eine geringe Abnahme der Amplitude für den Distraktor Dc. In der Bedingung „Lokal“ zeigt sich an Cluster MFC eine Abnahme der positiven Amplitude mit steigender Distraktoranzahl. An Cluster MPO ergibt sich ein geringer Anstieg der Amplitude für die Distraktoren Db und Dc. In der Bedingung „Global“ findet sich an den Clustern MPO und MFC eine nahezu konstante positive Amplitude.

Tabelle 6.7 lässt sich entnehmen, dass sich allein in der Bedingung „Standard“ ein signifikanter Haupteffekt „Distraktor“ ergibt. Die *a posteriori* durchgeführten, paarweisen Vergleiche belegen eine signifikant positivere Amplitude für den Distraktor Da im Vergleich mit Distraktor Dc. Die signifikante Interaktion „Distraktor x Cluster“ in der Bedingung „Standard“ geht darauf zurück, dass sich die Abnahme der positiven Amplitude vor allem an Cluster MFC zeigt.

In der Bedingung „Lokal“ ergibt sich ebenfalls eine signifikante Interaktion „Distraktor x Cluster“. Hier liegt die tendenziell gegenläufige Entwicklung der positiven Amplitude zugrunde: deutliche Abnahme an Cluster MFC, geringe Zunahme an Cluster MPO. In der Bedingung „Global“ findet sich kein signifikantes Ergebnis für den Zeitbereich 350 – 400 ms.

Tabelle 6.7

Ergebnisse der 2-faktoriellen ANOVAs („Distraktor“, „Cluster“) mit Messwiederholungen für die drei Versuchsbedingungen im Zeitbereich der P300/P3a (350 – 400 ms). In der rechten Spalte aufgeführt sind die Ergebnisse des Topographie-Vergleichs für die Distraktoren Da und Db mit z-standardisierten Amplituden.

Bedingung	„Distraktor“	„Distraktor x Cluster“	Topographie-Vergleich (Da, Db) [„Distraktor x Cluster“]
„Standard“	$F(2,26) = 3.58, \tilde{\epsilon} = .95$ $p = .046, \eta^2 = .22$	$F(2,26) = 11.95, \tilde{\epsilon} = 1.00$ $p < .001, \eta^2 = .48$	$F(13,169) = 5.15, \tilde{\epsilon} = .34$ $p < .001, \eta^2 = .28$
„Lokal“	$F(2,26) = 0.44, \tilde{\epsilon} = 1.00$ ns, $\eta^2 = .03$	$F(2,26) = 4.10, \tilde{\epsilon} = 1.00$ $p = .029, \eta^2 = .24$	$F(13,169) = 1.15, \tilde{\epsilon} = .34$ ns, $\eta^2 = .08$
„Global“	$F(2,26) = 0.47, \tilde{\epsilon} = 1.00$ ns, $\eta^2 = .04$	$F(2,26) = 2.68, \tilde{\epsilon} = 1.00$ ns, $\eta^2 = .17$	$F(13,169) = 2.67, \tilde{\epsilon} = .47$ $p = .021^+, \eta^2 = .17$

Modulation der P3a in der Bedingung „Standard“

In Abbildung 6.6 ist der Einfluss des Faktors „Distraktor“ auf das Distraktor-EKP im Zeitbereich der fronto-zentralen P3a für die Bedingung „Standard“ dargestellt.

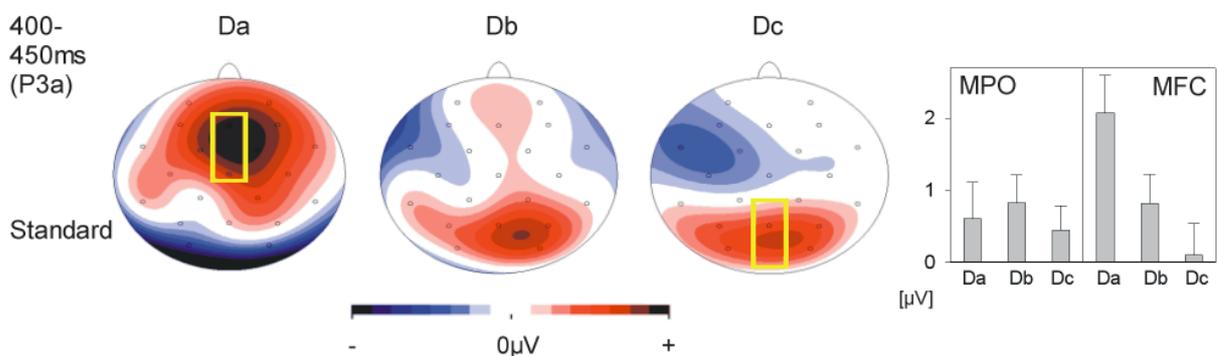


Abbildung 6.6 Topographien der *grand averages* über 14 Vpn für die Distraktoren Da, Db und Dc. Dargestellt ist der Zeitbereich der P3a. Die Farbcodierung reflektiert die mittleren *average reference* Amplituden. Die Topographien sind auf $-1.0..+1.0\mu\text{V}$ skaliert. Die Balkendiagramme stellen die *common reference* Amplituden in den Clustern MPO (posterior) und MFC dar. Die Positionen der Cluster sind durch gelbe Rahmen markiert.

⁺ Von den aufgeführten Topographie-Vergleichen wird allein der Vergleich in der Bedingung „Global“ mit unskalierten Amplitudenwerten nicht signifikant. In den Vergleich der Topographien gehen alle 14 Cluster ein.

Aus Abbildung 6.6 geht hervor, dass sich im Zeitbereich 400 – 450 ms in der Bedingung „Standard“ allein für den ersten Distraktor (Da) eine ausgeprägte fronto-zentrale P3a herausbildet. An Cluster MFC zeigt sich eine deutliche Abnahme der positiven Amplitude für die Distraktoren Db und Dc. An Cluster MPO findet sich nur eine geringe positive Amplitude, die kaum von der Distraktoranzahl beeinflusst wird. Die Amplituden und Topographien in den Bedingungen „Lokal“ und „Global“ in diesem Zeitbereich unterscheiden sich nur geringfügig vom Zeitbereich 350 – 400 ms und werden aus diesem Grund nicht dargestellt.

6.4 Diskussion

6.4.1 Psychophysik

Die Ergebnisse von Experiment 4 belegen, dass sich nur im ursprünglichen Motion Blindness Paradigma (Bedingung „Standard“) die beiden wesentlichen Merkmale der Motion Blindness ergeben: Abhängigkeit der Detektionsleistung vom Lag, Abhängigkeit der Detektionsleistung von Distraktoren an frühen Lags. Die erneute Replikation dieser Merkmale bestätigt die Robustheit des Motion Blindness Effekts innerhalb der untersuchten Population, die hauptsächlich von Studenten gebildet wurde.

Im Vergleich mit den Ergebnissen aus den Experimenten 2 und 3 ergibt sich in Experiment 4 allerdings eine deutlich geringere Detektionsleistung von ca. 44% für Zielbewegungen, die simultan mit dem Hinweisreiz dargeboten werden (Lag 0). In den Experimenten 2 und 3 ergab sich für Lag 0 eine Detektionsleistung von ca. 75%. Zu erklären ist dieser Befund mit der geringeren Zielreiz-Kohärenz von 50% in Experiment 4. Zusätzlich ist es denkbar, dass die Reihenfolge der Bedingungen, die in Experiment 4 für jede Vp dieselbe war, eine Rolle spielt: die Bedingung „Standard“ folgte auf die Bedingung „Lokal“, in welcher nur der lokale Farbwechsel beachtet werden sollte. Zwar absolvierten die Vpn vor jeder Bedingung ein Training, es ist aber durchaus denkbar, dass sich in dem Unterschied der Detektionsleistungen auch die Kosten einer Umstellung von der Bedingung „Lokal“ auf die Bedingung „Standard“ widerspiegeln. Die randomisierte Reihenfolge der Durchgänge in jeder Bedingung erlaubt es jedoch nicht zu untersuchen, ob die Kosten der Umstellung im Verlauf der Bedingung „Standard“ geringer werden. Eine Unterteilung in einen ersten und einen zweiten Block wie in Experiment 3 ist hier nicht möglich.

Die Ergebnisse für die Bedingung „Lokal“ belegen, dass den Probanden die Detektion des farbigen Zielreizes in der lokalen Sequenz nahezu fehlerlos gelingt. Es findet sich keine Abhängigkeit der Detektionsleistung von den globalen Distraktoren. Tatsächlich handelt es sich in dieser Bedingung bei den kohärenten Bewegungen nicht um Distraktoren wie in der Bedingung „Standard“. In der Bedingung „Lokal“ sollen die Vpn keinerlei Angaben zu den Bewegungen des Zufallspunkt-Kinematogramms machen. Die globalen kohärenten Bewegungen stellen somit eine vollkommen irrelevante Information dar, die nicht mit der lokalen Aufgabe interferieren sollte. Dass sich kein Einfluss der kohärenten Bewegungen auf die Detektionsleistung für den lokalen Zielreiz zeigt, ist zusätzlich ein Hinweis darauf, dass die Bewegungen nicht zu einer unwillkürlichen Auslenkung der Aufmerksamkeit auf die globale Reizsequenz führen (Posner, 1980). Zwar zeigt sich ebenfalls keine signifikante Abhängigkeit der Detektionsleistung vom Lag, jedoch ergibt sich deskriptiv für Zielreize an Lag 5 eine etwas geringere Detektionsleistung als an Lag 1 (Unterschied ca. 4%). Es ist denkbar, dass der geringe Unterschied darauf zurückgeht, dass 500 ms nach der Darbietung des Hinweisreizes die Ressourcen zur Verarbeitung des Zielreizes noch nicht vollständig wieder zur Verfügung stehen. Ein vergleichbares Ergebnismuster – bessere Leistung an Lag 1 als an Lag 5, mit einer J-förmigen Funktion der Leistung über die Lags - ergibt sich im Paradigma des Attentional Blink (Raymond et al., 1992; Kranczioch et al., 2003). Allerdings fehlen im vorliegenden Experiment die Ergebnisse für die Lags 2, 3 und 4, um tatsächlich von einem ähnlichen Muster ausgehen zu können.

In der Bedingung „Global“ zeigt sich eine deutlich geringere Detektionsleistung der Zielbewegung an Lag 1 als an Lag 5. Es ergibt sich in dieser Bedingung die höchste Quote für falsche Alarme von ca. 20%. Dies deutet darauf hin, dass der direkte Übergang von der transparenten Bewegung des Hinweisreizes zur einfach kohärenten Bewegung des Zielreizes die Vpn unsicher machte bezüglich ihrer Entscheidung „Zielreiz gesehen/ Zielreiz nicht gesehen“. Zugleich lässt sich der Effekt des Lags auf die Detektionsleistung im Sinne einer verringerten Verarbeitungskapazität für die Zielbewegung an Lag 1 interpretieren. Komputationale Modelle legen nahe, dass die Verarbeitung transparenter Bewegung mehr Ressourcen in Anspruch nimmt als die Verarbeitung einfach kohärenter Bewegung (Snowden & Verstraten, 1999). Allerdings gibt es bislang keine Studien mit einem transparenten Hinweisreiz und einem einfach kohärenten Zielreiz, die auf der Ebene der Verhaltensdaten

zum Vergleich herangezogen werden könnten*. Ein Einfluss der Distraktorbewegungen zeigt sich in der Bedingung „Global“ im Unterschied zur Bedingung „Standard“ allein deskriptiv für die Detektion der Zielreize an Lag 5. Bei der Darbietung von Distraktoren ergibt sich an Lag 5 eine geringere Detektionsleistung (Unterschied ca. 9%). Zu beachten ist an dieser Stelle, dass es sich in der Bedingung „Global“ bei den kohärenten Bewegungen der globalen Sequenz nicht um Distraktoren wie in der Bedingung „Standard“ handelt. In der Bedingung „Global“ wird die globale Sequenz durchgehend von den Vpn beachtet, da in dieser Sequenz der Hinweisreiz dargeboten wird.

Zusammenfassend für die drei Bedingungen belegen die Verhaltensdaten von Experiment 4, dass unterschiedliche Instruktionen den Einfluss der Distraktoren (genauer: kohärenter Bewegungen in der globalen Sequenz vor dem Hinweisreiz) wirkungsvoll modulieren können. Allein in der Bedingung „Standard“ ergibt sich ein deutlicher Einfluss der Distraktoren auf die Detektionsleistung. Dieses Ergebnis ist vereinbar mit dem Erklärungsmodell des Motion Blindness Effekts von Sahraie et al. (2001).

6.4.2 Ereigniskorrelierte Potentiale

Für das Distraktor-EKP der Bedingung „Standard“ ergibt sich in Experiment 4 ein vergleichbares Bild wie in Experiment 3. Es konnten die bewegungsvozierte N200, die frontale Negativierung („Nf“), eine parietale P300 sowie eine fronto-zentrale P3a identifiziert werden. Im folgenden soll die beobachtete Modulation dieser Komponenten in Abhängigkeit von der Anzahl zuvor präsentierter Distraktoren für alle drei Bedingungen diskutiert werden.

Die Modulation der bewegungsvozierten N200

In der Bedingung „Global“ ergeben sich im Vergleich mit den anderen Bedingungen die größten N200 Amplituden. Dieser Befund lässt sich darauf zurückführen, dass in dieser Bedingung die globale Sequenz von den Vpn durchgehend beachtet wird, da hier sowohl der Hinweisreiz als auch der Zielreiz dargeboten werden. Eine Modulation der bewegungs-

* Eine verringerte Diskriminationsleistung (Valdes-Sosa et al., 1998) und Detektionsleistung (Pinilla et al., 2001) in einem Zeitraum von bis zu 500 ms konnte nachgewiesen werden, wenn in einem transparenten Zufallspunkt-Kinematogramm mit zwei Oberflächen (definiert durch rote und grüne Punkte) der Hinweisreiz in der einen und der Zielreiz in der anderen Oberfläche dargeboten wurde. Die Autoren bezeichnen den zugrundeliegenden Mechanismus als „surface dwell-time“. Im Experiment 4 der vorliegenden Arbeit war jedoch kein Wechsel der Aufmerksamkeit von einer Oberfläche zu einer anderen erforderlich.

evozierten N200 durch visuelle Aufmerksamkeit konnte bereits in anderen Studien nachgewiesen werden (Valdes-Sosa et al., 1998; Wang, Jin, Xiao, Fan & Chen, 1999).

In allen Bedingungen findet sich deskriptiv eine Abnahme der N200 Amplitude mit steigender Anzahl an Distraktoren, die zuvor in der globalen Sequenz präsentiert werden. Dieser Befund ergab sich für die Bedingung „Standard“ bereits in Experiment 3. In Experiment 3 wurde die Möglichkeit diskutiert, dass es sich hierbei um einen Einfluss der visuellen Aufmerksamkeit handelt. Für die Bedingung „Standard“ ist es denkbar, dass Distraktoren, die in der Sequenz auf eine Reihe von Distraktoren folgen, weniger Aufmerksamkeit zugewiesen wird. Aufgrund der Ergebnisse von Experiment 4 kann diese Möglichkeit nun ausgeschlossen werden. Da sich die Abnahme der N200 Amplitude auch - und signifikant ausschließlich - in der Bedingung „Global“ ergibt, in der die globale Sequenz durchgehend beachtet wird, ist vielmehr davon auszugehen, dass es sich um einen Adaptationseffekt handelt (Bach & Ullrich, 1994).

Die Modulation der frontalen Negativierung („Nf“)

In Experiment 4 findet sich für die Bedingung „Standard“ wie in Experiment 3 eine frontale Negativierung („Nf“) im EKP von Distraktoren, denen ca. sechs Distraktoren in der globalen Sequenz vorhergehen. In Experiment 4 ist die „Nf“ jedoch insgesamt deutlicher ausgeprägt. Zudem zeigt sich in Experiment 4 ein signifikanter, linearer Anstieg der „Nf“ Amplitude mit zunehmender Distraktoranzahl, so dass tatsächlich von einer Entwicklung der „Nf“ aufgrund der Darbietung von Distraktoren ausgegangen werden kann. Zu beachten ist, dass in Experiment 4 der Zeitbereich der „Nf“ auf 25 ms begrenzt wurde (250 – 275 ms).

In den Bedingungen „Lokal“ und „Global“ zeigt sich eine vergleichbare Entwicklung der „Nf“ hingegen nicht. In der Bedingung „Lokal“ findet sich eine ausgeprägte Negativierung über frontalen Elektroden allein für den ersten Distraktor einer Sequenz. In der Bedingung „Global“ ergibt sich nur eine geringe Modulation der frontalen Negativierung. Aufgrund dieser Befunde kann die Möglichkeit ausgeschlossen werden, dass die „Nf“ lediglich die Anzahl bereits dargebotener kohärenter Bewegungen kodiert.

Vor dem Versuch einer Interpretation der „Nf“ soll im folgenden zunächst eine Abgrenzung der „Nf“ von einigen bereits etablierten Negativierungen im EKP erfolgen. Dabei werden drei Negativierungen aufgeführt, die im Zusammenhang mit Prozessen der visuellen und auditiven Aufmerksamkeit sowie inhibitorischen Prozessen diskutiert werden*.

Näätänen, Gaillard und Mäntysalo (1978) fanden für auditive Reize eine langanhaltende Negativierung ab ca. 100 ms, die sich bei dichotischer Stimulation im EKP der beachteten Reize zeigt. Diese von Näätänen et al. (1978) benannte *processing negativity* wird in der Form des Differenzpotentials in der Regel als Nd bezeichnet (für *negative difference wave* bzw. *negative deflection*). Aufgrund der Topographie kann eine frühe, posteriore bis zentrale Nd (Nde, ca. 100 – 300 ms) von einer späteren, frontalen Nd (Ndl, ca. 300 – 400 ms) unterschieden werden (Hansen & Hillyard, 1980; Übersicht bei Näätänen, 1982). Karayanidis und Michie (1996) konnten erstmals für visuelle Reize eine fronto-zentrale *processing negativity* bzw. Ndl mit einem Maximum um ca. 300 ms nachweisen. Die Autoren verwendeten ein Paradigma nach Hillyard und Münte (1986), bei der die Vpn auf seltene Zielreize einer bestimmten Kombination aus Lokation, Farbe und Größe reagieren müssen.

Es ist nicht davon auszugehen, dass es sich bei der „Nf“ der vorliegenden Experimente um die von Karayanidis und Michie (1996) berichtete Ndl handelt. Zum einen tritt die „Nf“ für Reize auf, die nicht beachtet werden sollen, die Ndl hingegen für beachtete Reize. Zum anderen besteht ein wesentlicher Unterschied zwischen den verwendeten Paradigmen. Bei Karayanidis und Michie (1996) sollten die Vpn eine Kombination aus verschiedenen Merkmalen beachten, in den vorliegenden Experimenten liegen jedoch zwei räumlich getrennte Sequenzen aus Farbe und Bewegung vor.

Näätänen et al. (1978) konnten in derselben Studie zur *processing negativity* zeigen, dass sich bei der wiederholten Darbietung von gleichen Tönen für seltene, abweichende Töne eine sogenannte *mismatch negativity* (MMN) im EKP ergibt. In der Forschungsliteratur werden die gleichen Töne in der Regel als *standards* und die abweichenden Töne als *deviants* bezeichnet. Die MMN weist für auditive Reize eine Latenz von ca. 100 - 300 ms sowie eine fronto-zentrale Topographie auf und ergibt sich insbesondere bei der Darbietung der *standards* und

* Nicht besprochen werden die posteriore N2pc, die im Zusammenhang mit der Verlagerung der Aufmerksamkeit bei der visuellen Suche diskutiert wird (Woodman & Luck, 1999) sowie die posteriore *selection negativity* (SN), die die selektive Verarbeitung einzelner Stimulusmerkmale widerspiegelt (Anllo-Vento & Hillyard, 1996).

deviants in einer nicht beachteten Sequenz (Übersicht bei Picton et al., 2000). Pazo-Alvarez, Cadaveira und Amenedo (2003) fassen in ihrer Übersichtsarbeit Studien zusammen, die eine MMN auch für visuelle Reize nahelegen (vMMN). Allerdings bleibt umstritten, ob die Prozesse, die eine vMMN auslösen, vergleichbar sind mit denjenigen, die im Zusammenhang mit der auditiven MMN diskutiert werden. Eine vMMN für Veränderungen der Bewegungsrichtung wird von Pazo-Alvarez, Amenedo und Cadaveira (2004) berichtet. Die Vpn bearbeiteten eine zentrale Aufgabe, während in der Peripherie bewegte Gattermuster eingeblendet wurden. Mit Hilfe der Gattermuster wurden die *standards* (Bewegung für 133 ms nach oben) und *deviants* (Bewegung für 133 ms nach unten) definiert.

Es besteht ein grundlegender Unterschied zwischen den Stimuli der Studien, die eine vMMN nachweisen, und dem Paradigma der vorliegenden Arbeit. Im Motion Blindness Paradigma kann das Grundrauschen der globalen Sequenz nicht als *standard* im Sinne des MMN Paradigmas verstanden werden, da es sich nicht um ein wiederholt und kurzzeitig auftretendes, sondern andauerndes Ereignis handelt. Allerdings konnten Kenemans, Grent-t' Jong und Verbaten (2003) eine der vMMN vergleichbare Negativierung nachweisen, wenn keine *standards* etabliert werden*. Auf der Ebene der Potentiale besteht ein weiterer Unterschied zwischen der „Nf“ und der vMMN: die vMMN weist im Gegensatz zur „Nf“ eine modalitätsspezifische, posteriore Topographie auf (Berti & Schröger, 2004; Czigler, Balázs & Winkler, 2002).

Eine Negativierung mit fronto-zentraler Topographie zeigt sich im sogenannten Go/NoGo Paradigma. In diesem Paradigma - auf Reiz A soll reagiert werden, auf einen selteneren Reiz B nicht, bei zufälliger Abfolge der Reize – findet sich nach der Darbietung des NoGo Stimulus mit einer Latenz von ca. 200 - 300 ms die sogenannte NoGo-N2 mit fronto-zentralem Maximum (Eimer, 1993; Falkenstein et al., 1999; Simson, Vaughan & Ritter, 1977). Die NoGo-N2 wird im Zusammenhang mit Inhibitionsprozessen diskutiert (Falkenstein et al., 2002). Elektrophysiologische Quellenschätzungen sowie Untersuchungen mit funktioneller Bildgebung legen nahe, dass es sich hierbei um Prozesse handelt, die im präfrontalen und cingulären Cortex lokalisiert werden können (Kiefer, Marzinzik, Weisbrod, Scherg & Spitzer, 1998; Garavan, Ross, Murphy, Roche & Stein, 2002). Die NoGo-N2 konnte auch nachgewiesen werden, wenn auf den „Go“ Reiz keine manuelle Reaktion

* Da Kenemans et al. (2003) davon ausgehen, dass diese Negativierung die Seltenheit von dargebotenen Reizen widerspiegelt, gaben sie ihr die Bezeichnung *rareness-related negativity* (RRN).

erforderlich war (Pfefferbaum et al., 1985), was darauf hindeutet, dass die NoGo-N2 nicht in erster Linie eine motorische Inhibition widerspiegelt.

Trotz einer Vergleichbarkeit zwischen der „Nf“ und der NoGo-N2 bezüglich der Latenz und Topographie erscheint es nicht sinnvoll, die „Nf“ als eine der NoGo-N2 verwandte Komponente zu interpretieren. Die verwendeten Paradigmen, in denen sich die Negativierungen zeigen, sind für eine solche Interpretation zu unterschiedlich. Im Motion Blindness Paradigma wird die „Nf“ in der Bedingung „Standard“ durch nicht beachtete Distraktoren evoziert, im Go/NoGo Paradigma hingegen werden sowohl „Go“ als auch „NoGo“ Reize von den Vpn beachtet. Abschließend lässt sich also feststellen, dass sich die „Nf“ nicht im Sinne der beschriebenen Komponenten des EKP interpretieren lässt.

Interpretation der „Nf“

Die Tatsache, dass sich eine Entwicklung der „Nf“ mit steigender Anzahl zuvor präsentierter Distraktoren nur für die Bedingung „Standard“ ergibt, legt nahe, dass die „Nf“ einen distraktorspezifischen Prozess abbildet. Nur in der Bedingung „Standard“ handelt es sich bei den kohärenten Bewegungen der globalen Sequenz um Distraktorreize, die die Detektionsleistung für den Zielreiz vermindern. Die Interpretation der „Nf“ als mögliche Manifestation eines inhibitorischen Prozesses ist somit auf die Bedingung „Standard“ beschränkt. Im folgenden sollen zwei Ansätze zur Beschreibung der Prozesse, die die „Nf“ möglicherweise widerspiegelt, ausgeführt werden.

Den Ausgangspunkt des ersten Ansatzes stellt die *error-related negativity* (Ne bzw. ERN) dar. Bei der Ne handelt es sich um eine etablierte Komponente, die sich am deutlichsten im reaktionsbezogenen EKP auf fehlerhafte Reaktionen in Wahl-Reaktions-Aufgaben findet (Hohnsbein, Falkenstein & Hoormann, 1989; Gehring, Coles, Meyer & Donchin, 1990). Die Ne zeigt sich als kurzdauernde, negative Welle im reaktionsbezogenen EKP mit einer Latenz von ca. 100 ms, einer Amplitude von ca. $-7 \mu\text{V}$ und einer fronto-zentralen Topographie (Falkenstein, Hoormann & Hohnsbein, 1997). Für die Ne belegen sowohl Quellenschätzungen als auch bildgebende Studien einen Ursprung im anterioren cingularen Cortex (ACC; Dehaene, Posner & Tucker, 1994; Kiehl, Liddle & Hopfinger, 2000). Allerdings ist es umstritten, welchen Prozess die Aktivierung des ACC bei der Generierung der Ne widerspiegelt: die Entdeckung eines Fehlers oder eines Konflikts der richtigen mit der

fehlerhaften Reaktion. Zahlreiche Studien liefern Befunde, die überzeugend für die Annahme einer Konfliktdetektion sprechen (Carter et al., 1998; Gehring & Fencsik, 2001).

Zwar wurde in der vorliegenden Arbeit keine elektrophysiologische Quellenschätzung für die „Nf“ durchgeführt, auf der Ebene der visuellen Inspektion ist der fronto-zentrale Schwerpunkt der „Nf“ jedoch der Topographie der Ne vergleichbar. Es ist somit nicht auszuschließen, dass die „Nf“ im ACC generiert wird. Der ACC ist in eine Vielzahl von Prozessen der Kognition, Emotion und Wahrnehmung eingebunden (Übersicht bei Bush, Luu & Posner, 2000). Auf die anatomische und funktionelle Unterteilung des ACC soll hier nicht eingegangen werden. In ihrer Übersichtsarbeit schreiben Casey, Yeung und Fossella (2002) im Hinblick auf eine Aktivierung des ACC in experimentellen Paradigmen: „Tasks that require subjects to respond to one stimulus in the presence of distracting, irrelevant information reliably result in [its] activation“ (S. 150). Es wird hier allerdings eine experimentelle Situation charakterisiert, in der im Unterschied zum Motion Blindness Paradigma eine sofortige Reaktion auf den dargebotenen Reiz gefordert ist, wie z.B. bei Wahl-Reaktions-Aufgaben oder dem Stroop Paradigma (Stroop, 1935; Übersicht bei MacLeod, 1991).

Angesichts der aufgeführten Befunde ist es denkbar, dass die „Nf“ die Entdeckung eines Konflikts widerspiegelt. Dabei handelt es sich nicht um einen Antwortkonflikt (richtig – falsch) wie bei der Ne, sondern um einen Konflikt der Aufmerksamkeitszuweisung bei der simultanen Darbietung von zwei schnellen Reizsequenzen. In der Bedingung „Standard“ befinden sich die Farbwechsel auf der lokalen Ebene und die Distraktorbewegungen auf der globalen Ebene bis zur Darbietung des Hinweisreizes gewissermaßen in Konkurrenz um die Verarbeitungskapazität. Zur Bearbeitung der Aufgabe sollte der lokalen Sequenz die gesamte Kapazität zugewiesen werden. Dass allerdings die frühen Distraktoren einer Sequenz und insbesondere der erste Distraktor einer kontrollierten Verarbeitung zugeführt werden und möglicherweise sogar zu einer unwillkürlichen Auslenkung der Aufmerksamkeit auf die globale Sequenz führen, zeigt sich an den Amplituden der parietalen P300 und fronto-zentralen P3a. Die Entwicklung der „Nf“ gibt nun wieder, dass die Konkurrenz bezüglich der Verarbeitungskapazität (oder: der Konflikt „lokal – global“) zunehmend erkannt und durch die Aktivität des ACC markiert wird. Carter et al. (1998) formulieren, dass „the ACC monitors competition between processes that conflict during task performance“ (Seite 748).

Im ersten Erklärungsansatz ist der Prozess, welcher der „Nf“ zugrunde liegt, somit als Konfliktkennzeichnung zu bezeichnen. Ein inhibitorischer Prozess, der zur verminderten kontrollierten Verarbeitung der in der Sequenz folgenden Distraktoren sowie zur verringerten Detektionsleistung für den Zielreiz führt, wird von der „Nf“ in diesem Ansatz nicht abgebildet. Ein solcher inhibitorischer Prozess könnte jedoch die Folge der Konfliktkennzeichnung darstellen, im Sinne einer Lösung des Konflikts „lokal – global“ zugunsten der lokalen Sequenz. Die Interpretation der „Nf“ als Ausdruck der Konfliktkennzeichnung kann zudem erklären, warum sich die „Nf“ nicht im EKP auf die Zielbewegungen findet (Niedeggen et al., 2002). Die Darbietung des lokalen Hinweisreizes zeigt an, dass der Zielreiz nun in der globalen Sequenz zu finden ist, und löst somit den bestehenden Konflikt.

Der zweite Ansatz zur Beschreibung der Prozesse, welche die „Nf“ möglicherweise abbildet, ist vor allem als Modellvorstellung zu verstehen. Die „Nf“ spiegelt in diesem Ansatz einen Prozess wider, der als zentraler Filter verstanden werden kann. Dieser Filter regelt im Sinne eines Untersystems der exekutiven Kontrolle (siehe Übersicht bei Posner & DiGirolamo, 1998), inwieweit ein dargebotener Reiz einer kontrollierten Verarbeitung zugeführt wird. In der Bedingung „Standard“ wird der Filter bei der wiederholten Darbietung von Distraktoren in der globalen Sequenz zunehmend aktiv, was sich in der Zunahme der „Nf“ Amplitude und zugleich in der Abnahme der P300 Amplitude zeigt. Wichtig für die zunehmende Aktivierung des Filters ist dabei, dass es sich bei dem dargebotenen Reiz um einen Distraktor handelt, der zu einem späteren Zeitpunkt in der Sequenz, d.h. nach der Darbietung des Hinweisreizes, den Zielreiz definiert. Die Eigenschaft, wichtige Informationen von nicht beachteten Reizen zu filtern, ist auf Einzelzellniveau für den präfrontalen Cortex bereits nachgewiesen worden (Everling, Tinsley, Gaffan & Duncan, 2002). In der genannten Studie zeigten die untersuchten Neuronen, die in beachteten Reizabfolgen Zielreize und Distraktoren unterschiedlich kodierten, eine undifferenzierte Aktivität auf Zielreize und Distraktoren, wenn diese in einer nicht beachteten Reizabfolge dargeboten wurden. Die Annahme eines zentralen Filters kann allerdings nicht erklären, warum sich im Motion Blindness Paradigma keine „Nf“ im EKP auf nicht detektierte Zielreize zeigt (Niedeggen et al., 2002).

Für beide Ansätze gilt, dass es sich bei den beschriebenen Prozessen um zeitlich träge Prozesse handelt: nach dem Aufbau der Konfliktkennzeichnung bzw. des zentralen Filters aufgrund von einigen Distraktoren geschieht der Abbau nach der Darbietung des

Hinweisreizes über einen Zeitraum von ca. 400 ms hinweg. Warum sich eine der „Nf“ vergleichbare Komponente bislang in keiner EKP Studie zur Untersuchung inhibitorischer Prozesse zeigte (Übersicht bei Kok, 1999), kann an dieser Stelle nur mit den Besonderheiten des Motion Blindness Paradigmas begründet werden.

Die Modulation der P300 und der fronto-zentralen P3a

In der Bedingung „Standard“ ergibt sich für den ersten Distraktor einer Sequenz bereits im Zeitfenster 350 – 400 ms eine ausgeprägte fronto-zentrale Positivierung, die im folgenden Zeitfenster 400 – 450 ms die Topographie dominiert. Im EKP des mittleren und späten Distraktors hingegen ist die fronto-zentrale Positivierung kaum vorhanden. Die parietale P300 im ersten Zeitfenster zeigt eine geringe Abnahme der Amplitude mit zunehmender Distraktoranzahl.

Insgesamt handelt es sich in der Bedingung „Standard“ um eine deutlich geringer ausgeprägte parietale P300 als in Experiment 3. Die Mischform aus parietaler und fronto-zentraler Positivierung (Friedman et al., 2001; Verleger et al., 1994) hat sich in Experiment 4 offenbar zugunsten der fronto-zentralen P3a verlagert. Es ist zum einen denkbar, dass dieser Befund auf die unterschiedlichen Stichproben zurückzuführen ist. Zum anderen lässt sich dieser Befund auf die Reihenfolge der Bedingungen in Experiment 4 zurückführen. Die Bedingung „Standard“ folgte immer auf die Bedingung „Lokal“, in der allein die lokale Reizsequenz beachtet werden sollte. Die Umstellung von der Bedingung, in der die globale Reizsequenz vollkommen irrelevant ist, zu der Bedingung, in der die Reize der globalen Sequenz zu einem bestimmten Zeitpunkt relevant sind, führt möglicherweise dazu, dass in der Bedingung „Standard“ die Distraktoren - und insbesondere der erste Distraktor - vor allem als vom Grundrauschen des Kinematogramms abweichende Reize verarbeitet werden und in der Folge eine ausgeprägte P3a evozieren (Knight & Scabini, 1998; Spencer et al., 2001).

Wichtig erscheint an dieser Stelle der Befund, dass sich im Vergleich der Bedingungen eine topographisch distinkte P3a im Zeitfenster 400 – 450 ms nur in der Bedingung „Standard“ findet. Nach den Befunden von Squires et al. (1975) ist eine fronto-zentrale Positivierung jedoch auch für die Bedingung „Lokal“ zu erwarten, in der die Distraktoren in einem nicht zu beachtenden Informationskanal dargeboten werden. Desweiteren findet sich eine signifikante und vollständige Abnahme der fronto-zentralen Positivierung mit zunehmender

Distraktoranzahl ausschließlich in der Bedingung „Standard“. Es ist denkbar, dass die P3a im vorliegenden Experiment durch die Instruktion der Vpn moduliert wird. Dass in der zunächst nicht zu beachtenden Reizsequenz im Verlauf eines Durchgangs der Zielreiz definiert wird, spielt im vorliegenden Paradigma offenbar eine Rolle für die Ausprägung der fronto-zentralen P3a.

Für die parietale P300 zeigt sich in der Bedingung „Standard“ nur eine geringe Abnahme der Amplitude. Dieser Befund steht auf den ersten Blick im Widerspruch zu den Ergebnissen aus Experiment 3, in dem sich eine deutliche Abnahme der P300 zeigte. Bei einer Überprüfung des gewählten Clusters MPO für die Auswertung der parietalen P300 zeigt sich, dass es in Experiment 4 aufgrund einer Verlagerung der Positivierung nicht mehr den Schwerpunkt der P300 erfasst. Abbildung 6.7 stellt die Amplituden an Cluster MPO und den zugrundeliegenden Elektroden Pz und Oz für den ersten (Da), mittleren (Db) und späten (Dc) Distraktor der globalen Sequenz dar.

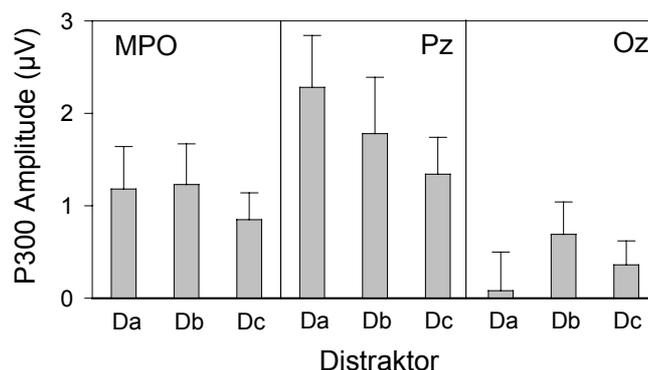


Abbildung 6.7 Amplituden in der Bedingung „Standard“ an Cluster MPO und den Elektroden Pz und Oz, die Cluster MPO bilden. Dargestellt sind die mittleren Amplituden für die Distraktoren Da, Db und Dc im Zeitbereich 350 – 400 ms (P300) über 14 Vpn mit Standardfehlern.

Wie in Abbildung 6.7 zu erkennen, findet sich an Elektrode Pz eine deutliche Abnahme der P300 Amplitude mit steigender Distraktoranzahl. An Elektrode Oz hingegen ist die positive Amplitude insgesamt nur gering ausgeprägt. Hier findet sich die größte Amplitude für den mittleren Distraktor einer Sequenz. Es wird deutlich, dass das Cluster MPO, welches den Mittelwert aus beiden Elektroden darstellt, die Abnahme der parietalen P300 unterschätzt. Wie in Experiment 3 kann also aufgrund der Ergebnisse aus Experiment 4 davon ausgegangen werden, dass es mit steigender Anzahl an zuvor präsentierten Distraktoren zu einem verminderten *context updating* bzw. *context closure* Prozess für die Distraktoren kommt (Donchin, 1981; Verleger, 1988). Da sich die Abnahme der parietalen P300 – auch auf der

Ebene der Elektrode Pz - allein in der Bedingung „Standard“ ergibt, kann ausgeschlossen werden, dass die verringerte P300 Amplitude auf die elektrophysiologische Refraktärperiode der P300 bzw. eine kortikale Inhibition im Verlauf P300 zurückzuführen ist (Rockstroh et al., 1992; Woods et al., 1980a/b). Somit handelt es sich bei der P300 Abnahme wie bei der Zunahme der frontalen Negativierung („Nf“) um einen distraktorspezifischen Prozess, der möglicherweise mit der zunehmenden Inhibition bzw. Filterung der Distraktorbewegungen in Zusammenhang steht.

Der Befund einer Mischform aus parietaler P300 und fronto-zentraler P3a ergibt sich ebenfalls für die Bedingungen „Lokal“ und „Global“. Dabei ist es überraschend, dass sich in der Bedingung „Lokal“ eine Positivierung über parietalen Elektroden zeigt. Eine parietale P300 findet sich typischerweise nur für Reize, die als relevant für die Bearbeitung einer Aufgabe gelten können (Donchin, 1979; Verleger et al., 1994). Dies trifft jedoch für die Distraktoren in der Bedingung „Lokal“ nicht zu, die während der gesamten Sequenz nicht zu beachten und über die keine Angaben zu machen sind.

6.5 Zusammenfassung

Die psychophysischen Ergebnisse von Experiment 4 bestätigen nur für die Bedingung „Standard“ eine Abhängigkeit der Detektionsleistung von Distraktorbewegungen. Unterschiedliche Instruktionen können folglich den Einfluss von kohärenten Bewegungen, die vor einem Hinweisreiz dargeboten werden, wirkungsvoll modulieren. Nur in dem Fall, dass es sich bei den kohärenten Bewegungen um Distraktoren handelt, die zu einem späteren Zeitpunkt in der globalen Sequenz den Zielreiz definieren, kommt es zur Motion Blindness. Dieser Befund ist vereinbar mit dem Erklärungsmodell von Sahraie et al. (2001).

Im Distraktor-EKP zeigen sich in allen untersuchten Bedingungen eine bewegungsevozierte N200 und eine parietale P300. Ein signifikanter Adaptationseffekt der N200 ergibt sich allein in der Bedingung „Global“. Hier finden sich im Vergleich der Bedingungen die größten Amplituden der N200, was als Einfluss der visuellen Aufmerksamkeit interpretiert werden kann. Eine signifikante Abnahme der parietalen P300 findet sich nur in der Bedingung „Standard“. Offenbar führt die wiederholte Darbietung von Distraktoren hier dazu, dass die späteren Distraktoren einer Sequenz einen verringerten *context updating* bzw. *context closure*

Prozess im Arbeitsgedächtnis auslösen. Die Abnahme der P300 steht möglicherweise im Zusammenhang mit der Zunahme der frontalen Negativierung („Nf“), die sich ebenfalls nur in der Bedingung „Standard“ ergibt. Die Amplitude der „Nf“ zeigt einen linearen Anstieg mit zunehmender Anzahl an Distraktoren, die zuvor in der globalen Sequenz präsentiert werden. Es wird davon ausgegangen, dass die „Nf“ einen Prozess abbildet, der im Sinne des Modells von Sahraie et al. (2001) zu einer Inhibition der dargebotenen Distraktoren führt. Diskutiert wird die Möglichkeit, dass die „Nf“ die Aktivität des anterioren cingulären Cortex widerspiegelt, welcher den Konflikt zwischen lokaler und globaler Reizsequenz kennzeichnet und in der Folge eine verringerte kontrollierte Verarbeitung der momentan irrelevanten Distraktoren bewirkt. Eine alternative Interpretation der „Nf“ sieht einen zentralen Filterprozess vor, der mit steigender Distraktoranzahl zunehmend aktiviert wird. Desweiteren findet sich allein in der Bedingung „Standard“ eine distinkte fronto-zentrale P3a im EKP des ersten Distraktors. Dieser Befund legt nahe, dass der erste Distraktor insbesondere in dieser Bedingung als abweichender Reiz verarbeitet wird und die Aufmerksamkeit unwillkürlich auf sich zieht.

7 Allgemeine Diskussion

Vor einer Beschreibung der Robustheit der experimentell induzierten Bewegungsblindheit sollen die Ergebnisse der einzelnen Experimente zunächst im Überblick dargestellt werden. Anschließend wird das Motion Blindness Paradigma anderen experimentellen Paradigmen der selektiven Aufmerksamkeit kurz gegenübergestellt. Es folgt eine abschließende Diskussion der Distraktor-EKP Befunde sowie eine Überprüfung der Daten zur Bewegungsrichtungs-diskrimination.

7.1 Überblick und Interpretation der Ergebnisse

In Experiment 1 konnte gezeigt werden, dass die Darbietung von Distraktoren im Motion Blindness Paradigma nicht zu einer fehlerhaften zeitlichen Zuordnung von Hinweisreiz und Zielreiz führt. Somit kann ausgeschlossen werden, dass eine perzeptuelle Asynchronität von Farbe und Bewegung (Moutoussis & Zeki, 1997a) am Effekt der Motion Blindness beteiligt ist.

Im zweiten Experiment wurde nachgewiesen, dass sowohl die Anzahl als auch die zeitliche Position von Distraktoren innerhalb der globalen Sequenz einen Einfluss auf die Detektionsleistung haben. Dieser Befund erlaubt es, das Erklärungsmodell von Sahraie et al. (2001) zu präzisieren. Zum einen kann davon ausgegangen werden, dass die Anzahl der dargebotenen Distraktoren in direktem Zusammenhang steht mit der Ausprägung der postulierten Distraktor-Inhibition, die zu einer verringerten Detektion des Zielreizes führt. Zum anderen scheint es bereits nach der Darbietung des letzten Distraktors einer Sequenz zu einer Lösung der aufgebauten Inhibition zu kommen. Dieser langsame Lösungsprozess geht mit der Darbietung des lokalen Hinweisreizes in einen schnellen Lösungsprozess über, der nach ca. 400 ms zu einem vollständigen Abbau der Inhibition führt.

Das dritte Experiment bestätigt einen graduellen Effekt der Distraktoranzahl auf die Detektionsleistung für den Zielreiz. Zugleich belegen die Ergebnisse, dass der Motion Blindness Effekt offenbar nicht auf eine Unvertrautheit der Probanden mit der schnellen Reizabfolge zurückgeht (siehe Braun, 1998). Die EKP Daten zeigen, dass die Anzahl zuvor dargebotener Distraktoren keinen Einfluss auf die bewegungsvevozierte, sensorische N200 Komponente des Distraktor-EKP hat. Die post-sensorische P300, die allgemein eine

kontrollierte Reizverarbeitung widerspiegelt, zeigt sich hingegen verringert für spätere Distraktoren in einer Sequenz von Distraktoren. Zusätzlich findet sich im EKP von Distraktoren, denen sechs Distraktoren in der globalen Sequenz vorhergegangen sind, eine Negativierung mit frontaler Topographie („Nf“), die möglicherweise im Zusammenhang steht mit dem von Sahraie et al. (2001) postulierten Inhibitionsprozess.

In Experiment 4 konnten die beschriebenen EKP Befunde für das Standardparadigma der Motion Blindness bestätigt werden. Da sich in zwei Kontrollbedingungen keine Entwicklung der „Nf“ mit steigender Distraktoranzahl ergibt, kann davon ausgegangen werden, dass die „Nf“ einen distraktorspezifischen Prozess abbildet. Es werden die Möglichkeiten einer Kennzeichnung eines Konflikts zwischen lokaler und globaler Sequenz sowie eines Mechanismus der zentralen Filterung von Reizen diskutiert. Die Abnahme der P300 Komponente des Distraktor-EKP zeigt sich ebenfalls nur in der Standardbedingung. Somit handelt es sich auch hier um einen distraktorspezifischen Effekt, der darauf hindeutet, dass spätere Distraktoren einer Sequenz einer verringerten kontrollierten Verarbeitung zugeführt werden. Desweiteren zeigt das Vorhandensein einer fronto-zentralen P3a im EKP des ersten Distraktors für die Standardbedingung, dass der erste Distraktor als abweichender Reiz in der globalen Sequenz verarbeitet wird.

7.2 Robustheit des Motion Blindness Effekts

Insgesamt handelt es sich bei der experimentell induzierten Bewegungsblindheit um einen robusten Effekt, der sich in allen Experimenten der vorliegenden Arbeit zeigt. Die wesentlichen Merkmale des Effekts - Abhängigkeit der Detektionsleistung vom Lag, Abhängigkeit von Distraktoren an frühen Lags -, die bereits von Sahraie et al. (2001) beschrieben wurden, finden sich in allen durchgeführten Experimenten (siehe auch Niedeggen et al., 2002). In Abbildung 7.1 sind die Detektionsleistungen in den Experimenten 2, 3 und 4 für Zielreize an Lag 0 dargestellt. (Da sich die Fragestellung von Experiment 1 nicht auf die Detektion des Zielreizes bezieht, sind die Ergebnisse aus Experiment 1 in dem Überblick nicht enthalten.)

Wie in Abbildung 7.1 zu erkennen ist, ergibt sich in jedem Experiment eine Abnahme der Detektionsleistung mit steigender Distraktoranzahl. Die vergleichsweise geringe Leistung in Experiment 4 geht darauf zurück, dass die Kohärenz des Targets hier nur 50% betrug (in allen anderen Experimenten 100%).

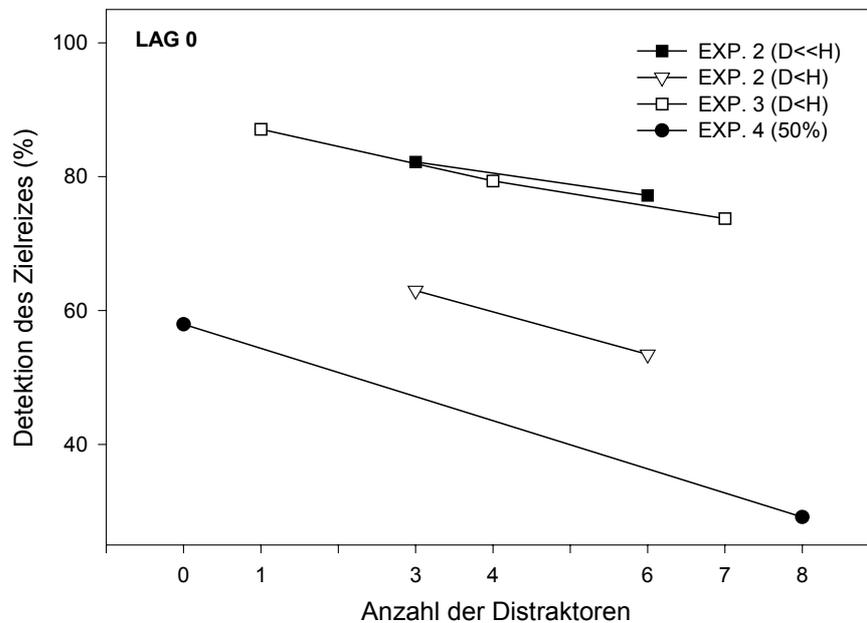


Abbildung 7.1 Detektion des Zielreizes (%) in den Experimenten 2, 3 und 4 in Abhängigkeit von der Distraktoranzahl für Zielreize an Lag 0. „D<<H“ kennzeichnet das frühe Distraktor-Zeitfenster, das 2000 ms vor Darbietung des Hinweisreizes endet. „D<H“ kennzeichnet das späte Zeitfenster, das 500 bzw. 600 ms vor dem Hinweisreiz endet. Dargestellt sind Mittelwerte über 16 (Exp. 2), 10 (Exp. 3) und 14 (Exp. 4) Vpn.

Ein interessanter Befund ergibt sich aus dem Vergleich der Detektionsleistungen in den Experimenten 2 und 3 (siehe Abbildung 7.1). In Experiment 2 endete das Distraktor-Zeitfenster, also der Zeitbereich, in dem Distraktoren dargeboten werden, entweder 2000 ms vor der Darbietung des Hinweisreizes oder 600 ms. Es kann also zwischen einem frühen („D<<H“) und einem späten („D<H“) Distraktor-Zeitfenster unterschieden werden. In Experiment 3 handelte es sich um ein spätes Distraktor-Zeitfenster, das 500 ms vor der Darbietung des Hinweisreizes endete. Der Überblick der Ergebnisse zeigt, dass die Detektionsleistung in Experiment 3 jedoch vergleichbar ist mit derjenigen in der Bedingung des frühen Distraktor-Zeitfensters aus Experiment 2. Die Detektionsleistung in der Bedingung des späten Distraktor-Zeitfensters ist in Experiment 2 deutlich geringer ausgeprägt. Dieses Ergebnis kann einerseits als Zeichen der unterschiedlichen Stichproben in den beiden Experimenten interpretiert werden. Ein alternativer Interpretationsansatz ergibt sich aus der Tatsache, dass in Experiment 2 die beiden Bedingungen mit den unterschiedlichen Distraktor-

Zeitfenstern randomisiert und nicht blockweise dargeboten wurden. Somit erscheint es denkbar, dass die im Vergleich zu Experiment 3 verringerte Detektionsleistung in der „D<H“ Bedingung auf einen Kontrasteffekt zurückgeht. Die „D<H“ Bedingung wird gewissermaßen kontrastiert mit einer einfacheren Bedingung „D<<H“, in der die Distraktoren in großem zeitlichen Abstand zum Hinweisreiz dargeboten werden. Im Verlauf des zweiten Experiments lernen die Probanden möglicherweise, dass in der Bedingung des frühen Distraktor-Zeifensters auf den letzten Distraktor kein weiterer Distraktor mehr folgt. Folglich könnten sie die Darbietung des Hinweisreizes und des Zielreizes bereits antizipieren. In der Bedingung des späten Distraktor-Zeifensters hingegen können die Probanden in der Mitte einer Sequenz nicht sicher sein, ob es ein Durchgang mit einem späten Distraktor-Zeifenster oder ein Durchgang ohne Distraktoren ist. Dieser Unterschied zwischen den Bedingungen könnte die deutliche Abnahme der Detektionsleistung für das späte Distraktor-Zeifenster in Experiment 2 erklären.

7.3 Abgrenzung und Einordnung des Motion Blindness Paradigmas

Das Paradigma der Motion Blindness weist einige Parallelen zu anderen experimentellen Paradigmen der selektiven Aufmerksamkeit auf. Zu nennen sind insbesondere der Attentional Blink, das Negative Priming sowie das Stroop Paradigma. Es erscheint daher notwendig, an dieser Stelle kurz die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den Paradigmen herauszuarbeiten.

Sowohl beim Attentional Blink Paradigma als auch beim Paradigma der experimentell induzierten Bewegungsblindheit handelt es sich um Aufgaben der zeitlichen Selektion – im Gegensatz zur visuellen Suche, die eine räumliche Selektionsaufgabe darstellt. Die relevanten Reize (Zielreiz T1 und Zielreiz T2 bzw. Hinweisreiz und Zielreiz) sind in eine RSVP-Sequenz irrelevanter Information eingebettet. Zwar werden im Motion Blindness Paradigma im Gegensatz zum Attentional Blink Paradigma der Originalarbeit (Raymond et al., 1992) zwei schnelle Reizsequenzen an verschiedenen Positionen des Gesichtsfeldes dargeboten, jedoch liegen auch jüngere Untersuchungen zum Attentional Blink vor, in denen mehrere, räumlich getrennte RSVP-Sequenzen präsentiert werden (z.B. Kristjánsson & Nakayama, 2002; Visser, Zuvic, Bischof & DiLollo, 1999). Der wesentliche Unterschied zwischen den beiden Paradigmen besteht vielmehr darin, dass sich im Motion Blindness Paradigma mit

Hilfe eines experimentellen Faktors (Anzahl der Distraktoren) die Ausprägung des Verhaltenseffekts graduell beeinflussen lässt.

Eine faktorielle Abstufung der Detektionsleistung für den zweiten Zielreiz (T2) ist für den Attentional Blink Effekt in Studien angedeutet worden, in denen die von T1 und T2 beanspruchte Verarbeitungskapazität (*perceptual load*) experimentell variiert wurde. So wurden in der Studie von Brehaut, Enns und DiLollo (1999) unterschiedliche Typen der visuellen Maskierung für T1 und T2 verwendet, um die Stärke des Attentional Blink Effekts auf diese Weise zu beeinflussen (vgl. Breitmeyer, Ehrenstein, Pritchard, Hiscock & Crisan, 1999). Darüberhinaus erscheint es denkbar, das Attentional Blink Paradigma durch einige gezielte Veränderungen der Reizsequenz in ein experimentelles Paradigma zu überführen, das dem der Motion Blindness vergleichbarer ist. So ließe sich in die Reizsequenz bis zur Darbietung des ersten Zielreizes (T1) eine bestimmte Anzahl T2-ähnlicher Reize eingefügen, die als Distraktoren im Sinne des Motion Blindness Paradigmas gelten könnten. Ein weiterer Schritt könnte darin bestehen, vor der Darbietung von T1 tatsächlich den Reiz darzubieten, der nach der Darbietung von T1 als T2 zu entdecken ist. In diesem Fall würde T1 eher einen Hinweisreiz darstellen, der angibt, ab welchem Zeitpunkt der zweite Zielreiz zu erwarten ist.

Die Parallele zwischen dem Motion Blindness Paradigma und dem Paradigma nach Stroop (Stroop, 1935; Übersicht bei MacLeod, 1991) besteht darin, dass in beiden experimentellen Paradigmen eine für die Aufgabe relevante und eine irrelevante Information dargeboten werden. Im ursprünglichen Stroop Paradigma werden den Probanden Farbworte präsentiert, die in kongruenter oder inkongruenter Farbe gedruckt sein können (kongruent: das Wort Blau in blau gedruckt; inkongruent: das Wort Blau in grün gedruckt). Die Aufgabe der Probanden ist es, die Farbe der Worte zu benennen, ohne das Wort selbst zu lesen. Eine effektive Bearbeitung der Aufgabe erfordert eine möglichst vollständige Unterdrückung der irrelevanten Information, d.h. der Wortbedeutung. Je stärker die irrelevante mit der relevanten Information interferiert, desto langsamer werden die Reaktionszeiten im Vergleich mit einer Kontrollbedingung, in der zugleich mit der relevanten eine neutrale oder kongruente irrelevante Information dargeboten wird. Die Verlangsamung der Reaktionszeit stellt den typischen Stroop Effekt dar. Eine wichtige Voraussage für das Stroop Paradigma ist, dass Probanden, die die irrelevante Information besser unterdrücken können, einen geringeren Stroop Effekt zeigen sollten.

Zu einer entgegengesetzten Voraussage gelangt man für den Motion Blindness Effekt. Hier sollten Probanden, die die irrelevante Information (Distraktoren) stärker unterdrücken, eine schlechtere Detektionsleistung für den Zielreiz aufweisen. Schließlich sieht das Erklärungsmodell von Sahraie et al. (2001) vor, dass ein inhibitorischer Prozess, der aufgrund der Darbietung von Distraktoren initiiert wird, zu einer verminderten Detektion des Zielreizes führt. Auf der Grundlage der einzelnen Voraussagen gelangt man zu der Annahme, dass Probanden mit einem ausgeprägten Motion Blindness Effekt einen geringen Stroop Effekt zeigen sollten („gute Inhibitoren“). Milders, Hay, Sahraie und Niedeggen (im Druck) untersuchten den korrelativen Zusammenhang zwischen dem Motion Blindness Effekt und dem Stroop Effekt. In Abbildung 7.2 sind die wesentlichen Ergebnisse dieser Studie dargestellt.

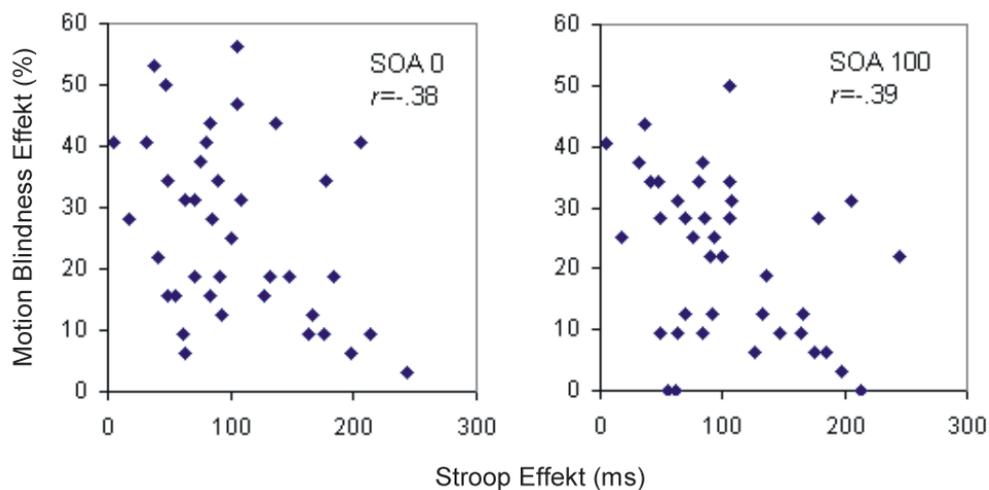


Abbildung 7.2 Motion Blindness und Stroop Effekt. Aufgetragen sind der Motion Blindness Effekt (Differenz von Detektionsleistungen: Bedingung „keine Distraktoren“ – „Distraktoren“ für ein Zielreiz-Hinweisreiz-SOA von 0ms und 100ms) und der Stroop Effekt (Inkongruent – Neutral). Dargestellt ist der Korrelationskoeffizient r für eine Stichprobe von 40 Probanden (nach Milders, Hay, Sahraie & Niedeggen, im Druck).

Die Ergebnisse von Milders et al. (im Druck) belegen einen signifikanten negativen Zusammenhang zwischen der Detektionsleistung im Motion Blindness Paradigma und dem Stroop Effekt entsprechend der zuvor formulierten Hypothese. Offensichtlich sind Probanden, die eine geringe Detektionsleistung im Motion Blindness Paradigma zeigen, tatsächlich weniger anfällig für eine Interferenz aufgrund von irrelevanter Information im Stroop Paradigma. Dieser Befund deutet an, dass in beiden Paradigmen möglicherweise ein ähnlicher zentraler Inhibitionsprozess aktiviert wird. Ein grundlegender Unterschied zwischen den Paradigmen besteht im Versuchsaufbau: im Stroop Paradigma werden die relevante und irrelevante Information gleichzeitig dargeboten, während im Motion Blindness Paradigma ein Hinweisreiz angezeigt, wann die kohärenten Bewegungen als relevant bzw. irrelevant gelten.

Das Negative Priming Paradigma stellt ein weiteres Paradigma dar, welches Gemeinsamkeiten mit dem Paradigma der experimentell induzierten Bewegungsblindheit aufweist. In beiden Paradigmen spielt die Darbietung von irrelevanten Distraktoren eine zentrale Rolle für den Verhaltenseffekt, der beim Negative Priming in der Regel als verlangsamte Reaktionszeit erfasst wird (Übersicht bei Fox, 1995; May et al., 1995). Grundsätzlich unterschiedlich ist jedoch der Ablauf eines Versuchsdurchgangs. Beim Negative Priming wird der Distraktor – wie im Stroop Paradigma, welches den Ausgangspunkt für die Untersuchung des Negative Priming Effekts darstellte (Dalrymple-Alford & Budayr, 1966) - immer zugleich mit einem relevanten Zielreiz dargeboten, auf den reagiert werden muss. Diese simultane Darbietung von Distraktor und Zielreiz ist im Motion Blindness Paradigma hingegen nicht der Fall. Desweiteren zeigt sich für den Negative Priming Effekt kein gradueller Einfluss der Distraktoranzahl, wie er für die experimentell induzierte Bewegungsblindheit nachgewiesen wurde. Strayer und Grison (1999) untersuchten, welchen Einfluss die wiederholte Darbietung eines Reizes als Distraktor oder Zielreiz auf den Negative Priming Effekt hat, wenn der entsprechende Reiz im kritischen Durchgang als Zielreiz dargeboten wird (Strayer & Grison, 1999; Experiment 3). Sie konnten zeigen, dass allein die wiederholte Darbietung als Zielreiz zu einer vermehrten Reaktionszeitverlangsamung im kritischen Durchgang führt. Die Wiederholung als Distraktor hingegen zeigte keinen Effekt auf das Verhalten.

Eine andere Perspektive, um die Paradigmen der experimentell induzierten Bewegungsblindheit und des Negative Priming miteinander zu vergleichen, bieten die unterschiedlichen Erklärungsmodelle des Negative Priming Effekts. Vereinfacht steht einer Inhibitionstheorie (Tipper & Cranston, 1985) eine Reihe von abruforientierten bzw. gedächtnisbasierten Ansätzen gegenüber (z.B. Neill, 1997). Die Inhibitionstheorie versteht Negative Priming in erster Linie als ein Phänomen der selektiven Aufmerksamkeit. Ein solcher Ansatz, der insbesondere die Enkodierung von Information in den Vordergrund stellt, ist vereinbar mit dem von Sahraie et al. (2001) formulierten Inhibitionsmodell zur Motion Blindness. Eine abruforientierte Interpretation des Motion Blindness Effekts erscheint hingegen weniger sinnvoll. Der *Episodic Retrieval* Ansatz geht davon aus, dass es bei der Darbietung des Zielreizes zum Konflikt zweier Antworttendenzen kommt (Reaktion versus Nichtreaktion), da der Zielreiz zuvor als Distraktor präsentiert wurde. Es kann nicht angenommen werden, dass ein solcher Konflikt von Antworttendenzen zu einer deutlich verringerten Detektionsleistung für den Zielreiz führt.

Es stellt sich die Frage, ob es sich beim Motion Blindness Effekt möglicherweise um eine Form der *Inattentional Blindness* handelt (Mack, 2003; Mack & Rock, 1998). In diesem Fall wird der Zielreiz von den Probanden nicht gesehen, da die visuelle Aufmerksamkeit nicht auf ihn ausgerichtet ist. Im Motion Blindness Paradigma wird jedoch mit Hilfe des lokalen Hinweisreizes eindeutig auf das Erscheinen des Zielreizes im Zufallspunkt-Kinematogramm hingewiesen. Eine Neuausrichtung der Aufmerksamkeit von der lokalen auf die globale Sequenz, die die lokale Sequenz zu allen Seiten umgibt, dürfte zudem in kürzester Zeit abgeschlossen sein (Tsal, 1983). Eine Interpretation des Motion Blindness Effekts als ein Phänomen der *Inattentional Blindness* könnte überdies kaum erklären, warum die Distraktoranzahl einen Einfluss auf den Effekt zeigt. Als Alternativerklärung zur *Inattentional Blindness*, die auf der Ebene des Perzepts ansetzt, wird von einigen Autoren ein gedächtnisbasiertes Konzept, die sogenannte *Inattentional Amnesia*, bevorzugt* (Wolfe, 1999). Hier wird der betreffende Zielreiz zwar von den Probanden gesehen, innerhalb eines sehr kurzen Zeitraums jedoch wieder vergessen, so dass er nicht angegeben wird. Den Zusammenhang zwischen Distraktoranzahl und Detektionsleistung könnte eine Interpretation des Motion Blindness Effekts als *Inattentional Amnesia* allerdings auch nicht erklären.

In der Einleitung der vorliegenden Arbeit wurde auf das Paradigma von Valdes-Sosa et al. (1998) hingewiesen, bei dem es - wie beim Motion Blindness Effekt - zu einer verringerten Detektionsleistung für eine kohärente Bewegung in einem Zufallspunkt-Kinematogramm kommen kann. Dieser Effekt tritt nur dann auf, wenn mit Hilfe des RDK Musters zwei transparente Flächen definiert werden und zwei Zielbewegungen in kurzer zeitlicher Abfolge in den beiden Flächen dargeboten werden (Pinilla et al., 2001; Valdes-Sosa et al., 2000). Die Voraussetzung für diesen Effekt der zeitlichen Trägheit der selektiven Aufmerksamkeit, der auch als *surface-dwell time* bezeichnet wird, ist das Vorhandensein von zwei Flächen bzw. Oberflächen, in denen die Zielreize dargeboten werden. Für das Motion Blindness Paradigma ist nicht davon auszugehen, dass durch die lokale und die globale Reizsequenz zwei unterschiedliche Oberflächen definiert werden. Zudem kann auch dieser Ansatz der *surface-dwell time* nicht den graduellen Effekt der Distraktoranzahl auf die Detektionsleistung erklären.

* Rees, Russell, Frith und Driver (1999) zeigen in einer fMRT Studie, wie sich empirisch ein Unterschied zwischen den beiden Phänomenen nachweisen lässt. Sie präsentierten den Probanden entweder Wörter oder sinnlose Buchstabenreihen und induzierten gleichzeitig eine experimentelle Blindheit für diese Reize. Die fMRT Daten zeigten nun, dass diejenigen Areale, die unter normalen Sehbedingungen zwischen sinnlosen und sinnvollen Buchstabenreihen differenzieren, im Zustand der experimentellen Blindheit eine vergleichbare Aktivität für beide Reiztypen zeigen. Dieser Befund spricht für die Annahme einer *Inattentional Blindness* (auf der Ebene des Perzepts) in dem verwendeten Paradigma.

Zusammenfassend ergeben sich zahlreiche Parallelen zwischen dem Motion Blindness Paradigma und anderen Paradigmen der selektiven Aufmerksamkeit. Dennoch zeigen die genauen Darbietungsparameter sowie die psychophysischen Ergebnisse, dass es sich beim Motion Blindness Paradigma offenbar um ein eigenständiges Paradigma handelt.

7.4 Wirkungsweise von Distraktoren im Motion Blindness Paradigma

Die EKP Befunde der vorliegenden Arbeit belegen, dass Distraktoren im Motion Blindness Paradigma nicht auf einer sensorischen Stufe der Verarbeitung wirksam werden. Zum einen ergibt sich im Standard-Paradigma keine signifikante Abnahme der bewegungsvezierten N200 mit steigender Distraktoranzahl. Zum anderen zeigt sich allein für die „Global“ Bedingung in Experiment 4, in der die globale Sequenz von den Probanden durchgehend beachtet wird, eine signifikante Abnahme der N200 Amplitude. Der zunehmende Aufbau eines inhibitorischen Prozesses spiegelt sich somit nicht in der Amplitude der sensorischen N200 wider.

Ein vergleichbarer Befund einer post-sensorischen Selektion in einer zeitlichen Selektionsaufgabe wird von Vogel et al. (1998) für das Attentional Blink Paradigma berichtet. Detektierte und nicht detektierte Zielreize unterschieden sich nicht bezüglich der frühen, sensorischen Komponenten (P1, N1 des visuell evozierten Potentials), sondern in der Ausprägung der parietalen P300, die den Übergang des Zielreizes in das Arbeitsgedächtnis widerspiegelt (Donchin, 1981; Donchin & Coles, 1988; vgl. Verleger, 1988). Studien zur visuell-räumlichen Selektion, etwa zur visuellen Suche, zeigen hingegen einen Einfluss auf die sensorischen EKP Komponenten, wenn ein Reiz an einer nicht beachteten Position des Suchdisplays dargeboten wird (z.B. Luck & Hillyard, 1995).

Die EKP Daten der Experimente 3 und 4 zur Amplitude der parietalen P300 sind vereinbar mit der Annahme eines post-sensorischen Selektionsmechanismus, der mit steigender Distraktoranzahl zunehmend aufgebaut wird. In beiden Experimenten zeigt sich eine Abnahme der P300 mit steigender Distraktoranzahl, wobei die Abnahme nicht durch *low-level* Prozesse wie z.B. eine elektrophysiologische Refraktärperiode zu erklären ist (Woods et al., 1980a/b). Die Abnahme der P300 ergibt sich nicht in den beiden Kontrollbedingungen aus Experiment 4, in denen es sich bei den kohärenten Bewegungen des Zufallspunkt-Kinematogramms nicht um Distraktoren im Sinne des Standard-Paradigmas handelt.

Dabei war es nicht zu erwarten, dass sich im Distraktor-EKP überhaupt eine parietale P300 zeigt. Eine parietal ausgeprägte P3-artige Komponente ergibt sich typischerweise für aufgabenrelevante Reize (Donchin, 1979; Verleger et al., 1994). Der Befund einer parietalen P300 im Distraktor-EKP kann als Hinweis dafür gelten, dass die Vpn die kohärenten Bewegungen des Kinematogramms vor der Darbietung des Hinweisreizes als „potentiell relevante“ Reize betrachten. Gegen diese Annahme spricht allerdings das Vorhandensein einer parietalen P300 in der „Lokal“ Bedingung in Experiment 4, in der die kohärenten Bewegungen durchgehend irrelevant für die Bearbeitung der Aufgabe sind.

Die allein für das Standard-Paradigma der Motion Blindness beobachtete – und somit distraktorspezifische - Abnahme der P300 Amplitude im Distraktor-EKP wird abschließend als Zeichen dafür interpretiert, dass die „potentiell aufgabenrelevanten“ kohärenten Bewegungen mit steigender Distraktoranzahl einen verminderten *context updating* Prozess (Donchin, 1981; Donchin & Coles, 1988) im Arbeitsgedächtnis auslösen. Ob allerdings der letzte Distraktor einer Sequenz, welcher die geringste P300 auslöst, möglicherweise nicht gesehen bzw. bewusst abgebildet wird (vgl. Vogel et al., 1998) kann nicht geklärt werden, da die Vpn im Motion Blindness Paradigma keine Angaben zu den Distraktoren machen sollen.

Die für das Standard-Paradigma berichtete Entwicklung einer frontalen Negativierung („Nf“) mit zunehmender Anzahl an Distraktoren, die zuvor in der Sequenz präsentiert werden, steht ebenfalls im Zusammenhang mit der von Sahraie et al. (2001) postulierten Distraktor-Inhibition. Für diese Annahme spricht, dass es sich bei der Entwicklung der „Nf“ - wie bei der P300 Abnahme - um einen für das Standard-Paradigma spezifischen Vorgang handelt. In den beiden Kontrollbedingungen, in denen es sich bei den kohärenten Bewegungen der globalen Sequenz nicht um Distraktoren im Sinne des Motion Blindness Paradigmas handelt, bildet sich mit steigender Distraktoranzahl keine „Nf“ heraus. Die „Nf“ kodiert somit nicht die Anzahl bereits dargebotener kohärenter Bewegungen, sondern spezifisch die Anzahl dargebotener Distraktoren, die zu einer verringerten Detektionsleistung für den Zielreiz führen. Die frontale Topographie der „Nf“, die nach ca. 100 ms auf die posteriore N200 folgt, bestätigt, dass die „Nf“ einen post-sensorischen Prozess der visuellen Verarbeitung widerspiegelt. Eine genaue Charakterisierung bzw. Lokalisation dieses Prozesses kann in dieser Arbeit aufgrund fehlender weiterer Daten bzw. Quellenschätzungen nicht erfolgen. Die zwei Versuche einer Interpretation der „Nf“, die in Experiment 4 bereits angeführt wurden, sollen an dieser Stelle noch einmal kur dargestellt werden.

Zum einen ist es denkbar, dass die „Nf“ einen Konflikt der Aufmerksamkeitszuweisung widerspiegelt. Laut Instruktion sollen die Probanden bis zur Darbietung des Hinweisreizes allein die lokale Reizsequenz beachten. Mit Darbietung des Hinweisreizes wird die globale Sequenz relevant. Die Probanden wissen, dass die kohärenten Bewegungen der globalen Sequenz potentielle Zielreize darstellen, die in Abhängigkeit von der lokalen Sequenz zu tatsächlichen Zielreizen werden. Folglich kann angenommen werden, dass gewissermaßen eine Konkurrenz der beiden Reizsequenzen um die verfügbaren Aufmerksamkeitskapazitäten besteht. Bis zur Darbietung des Hinweisreizes jedoch muss dieser Konflikt „lokal – global“ zugunsten der lokalen Sequenz gelöst werden. Zusätzlich gilt offenbar, dass mit steigender Distraktoranzahl auch der beschriebene Konflikt der Aufmerksamkeitszuweisung zunimmt, was sich in der Entwicklung der „Nf“ wiederfindet.

Eine Grundlage für eine Interpretation der „Nf“ als Korrelat einer Konfliktkennzeichnung bildet der Befund einer fronto-zentralen Negativierung (ERN/Ne) für fehlerhafte Reaktionen in Wahl-Reaktions-Aufgaben, in denen zwei Antwortmöglichkeiten miteinander konkurrieren und es vermehrt zu Fehlern bei der Bearbeitung kommt (Hohnsbein et al., 1989; Gehring et al., 1990). Quellenschätzungen der ERN/Ne Komponente belegen, dass der neuronale Generator dieser Negativierung mit hoher Wahrscheinlichkeit im anterioren cingulären Cortex (ACC) liegt (Dehaene et al., 2000). Der ACC zeigt eine deutliche Aktivierung bei Konfliktaufgaben wie z.B. dem Stroop Paradigma, bei dem möglicherweise vergleichbare zentrale Prozesse der Selektion initiiert werden wie beim Motion Blindness Paradigma (siehe Milders et al., im Druck). Als Folge der beschriebenen Konfliktkennzeichnung ist eine gezielte Unterdrückung der weiteren Verarbeitung der globalen Distraktoren auf einer Stufe nach der Bewegungsintegration denkbar.

Eine alternative Modellvorstellung der „Nf“ besteht in der Annahme eines zentralen Filterprozesses, der durch die Darbietung irrelevanter Distraktoren zunehmend aktiviert wird und sich in der Herausbildung einer frontalen Negativierung zeigt. Der zentrale Filter könnte in Abhängigkeit von seiner Aktivität darüber entscheiden, ob ein dargebotener Reiz bewusst abgebildet wird oder nicht. Diese Interpretation der „Nf“ kann jedoch nicht überzeugend erklären, warum sich im EKP auf nicht detektierte Zielreize im Motion Blindness Paradigma keine „Nf“ zeigt (Niedeggen et al., 2002).

7.5 Implizite Verarbeitung der Bewegungsrichtung

In unterschiedlichen Paradigmen der selektiven Aufmerksamkeit und experimentell induzierten Blindheit konnte nachgewiesen werden, dass ohne die erfolgte Detektion eines Reizes die Probanden im Sinne einer impliziten Verarbeitung dennoch Angaben über Eigenschaften des Reizes machen können. So ist für das *Change Blindness* Paradigma eine implizite Verarbeitung des nicht gesehenen Zielreizes bzw. der Reizveränderung bereits nachgewiesen worden (Fernandez-Duque & Thornton, 2000). Nach einem Versuchsdurchgang, in denen die Probanden die zyklische Veränderung auf dem Bildschirm nicht detektierten, sollten sie in einer *forced choice* Prozedur angeben, welches Element des Stimulus sich verändert hatte. Es stellte sich heraus, dass die Probanden mit überzufälliger Häufigkeit das korrekte Element angeben konnten. Für andere Paradigmen der experimentell induzierten Blindheit ist eine implizite Verarbeitung von nicht detektierten Reizen ebenfalls berichtet worden (z.B. Kolb & Braun, 1995).

Die Daten der vorliegenden Arbeit lassen eine Untersuchung der impliziten Leistung der Probanden zu, da in den Experimenten 2 und 3 zusätzlich zur Detektionsleistung die Richtungsdiskrimination der Zielbewegung erhoben wurde. Dabei erfolgte die Angabe der Bewegungsrichtung jeweils nach der Eingabe, ob der Zielreiz gesehen wurde oder nicht. Für den Fall, dass die Probanden einen Zielreiz nicht gesehen hatten, sollten sie eine Richtung raten und eingeben (*forced choice* Prozedur). Die Auswertung dieser Daten kann Aufschluss darüber geben, inwieweit die Probanden in Abhängigkeit von der Detektion dazu in der Lage waren, die Bewegungsrichtung der Zielbewegung anzugeben. Eine überzufällig korrekte Diskrimination der Richtung bei nicht erfolgter Detektion würde auf eine implizite Verarbeitung der Zielbewegung hinweisen und damit zeigen, dass nicht die vollständige Information der kohärenten Zielbewegung inhibiert bzw. „gefiltert“ wird.

Um die Richtungsdiskrimination in Experiment 2 zu untersuchen, wurden für jede Vp die insgesamt 80 Durchgänge der vier „Lag 0“ Bedingungen unterteilt in Durchgänge mit bzw. ohne erfolgte Detektion der Zielbewegung. Mindestens 15 Durchgänge sollten in jede der beiden Kategorien (detektiert/nicht detektiert) eingehen. Vier Vpn mussten daraufhin ausgeschlossen werden. Die relativen Häufigkeiten der korrekten Richtungsdiskrimination für beide Kategorien sind in Abbildung 7.3 graphisch dargestellt.

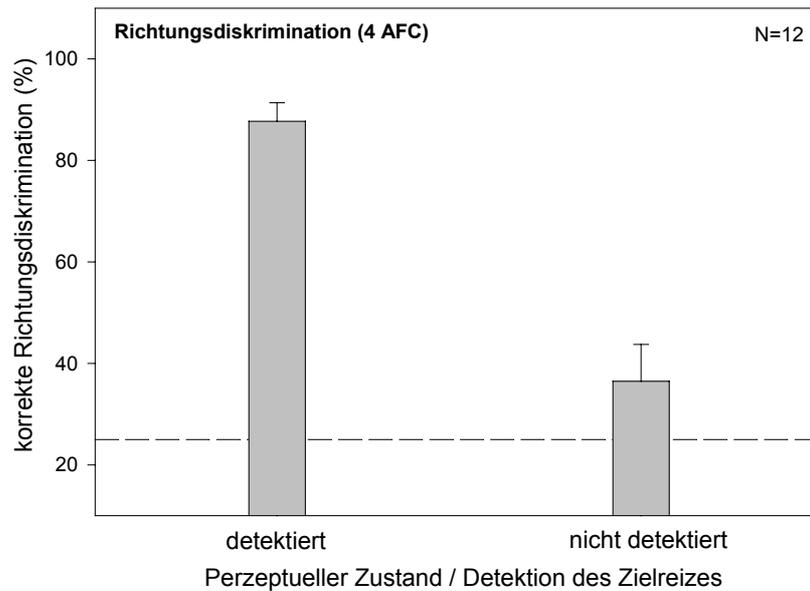


Abbildung 7.3 Die Richtungsdiskrimination der Zielbewegung (%) in Abhängigkeit vom perzeptuellen Zustand (detektiert/nicht detektiert) der Vpn in Experiment 2. Die Kennlinie bei 25% stellt die Ratewahrscheinlichkeit dar (4 AFC). Mittelwerte über 12 Vpn mit Standardfehlern.

In Abbildung 7.3 zeigt sich für Experiment 2 eine deutliche Abhängigkeit der Richtungsdiskrimination von der Detektionsleistung. Die relative Häufigkeit für eine korrekte Diskrimination liegt für detektierte Zielreize bei 87.70%. Die Richtung von nicht detektierten Zielreizen wird hingegen nur mit einer relativen Häufigkeit von 36.48% korrekt diskriminiert. Die Daten können somit lediglich zeigen, dass es in Abhängigkeit von der Detektionsleistung zu einer unterschiedlichen Richtungsdiskrimination kommt. Eine implizite Verarbeitung der Bewegungsrichtung in dem Fall, dass die Zielbewegung nicht detektiert wird, kann aufgrund dieses Datensatzes nicht ausgeschlossen werden. An anderer Stelle wurde jedoch nachgewiesen, dass im Motion Blindness Paradigma eine direkte *forced choice* Angabe der Bewegungsrichtung, die nicht auf eine Angabe der Detektion folgt, zu einer Leistung auf Rateniveau für Zielbewegungen an Lag 0 führt (Hesselmann et al., 2002).

Als problematisch erweist sich bei der Auswertung der Diskriminationsleistung in der vorliegenden Arbeit die offensichtliche Tendenz einiger Probanden, nach nicht erfolgter Detektion (rechte Taste) ein weiteres Mal die rechte Taste zu drücken. Im Fall einer solchen Verhaltenstendenz liegt die Diskriminationsleistung für nicht detektierte Zielreize bei 25%, also auf Rateniveau, da alle vier Richtungen mit gleicher Häufigkeit im Verlauf eines Experiments dargeboten werden. Eine erkennbare Verhaltenstendenz dieser Art zeigte sich bei einer Reihe von Probanden in Experiment 3, so dass die Ergebnisse der Richtungsdiskrimination für dieses Experiment nicht berichtet werden.

7.6 Ausblick

Das Paradigma der experimentell induzierten Bewegungsblindheit erscheint als ein geeignetes Paradigma zur Untersuchung von Selektionsmechanismen der visuellen Aufmerksamkeit, die mit der Verarbeitung von irrelevanten Distraktorreizen einhergehen. Folgeexperimente könnten folgende offene Fragen klären:

- Wo liegen die neuronalen Generatoren der frontalen Negativierung („Nf“) des Distraktor-EKP? Mit Hilfe von elektrophysiologischen Quellenschätzungen sowie einer fMRT Untersuchung könnte überprüft werden, ob die „Nf“ tatsächlich im anterioren cingulären Cortex generiert wird.
- Inwieweit führen die Distraktorbewegungen in Abhängigkeit von ihrer Position innerhalb einer Sequenz von Distraktoren zu einem Bewegungsnacheffekt? Die Untersuchung dieser Fragestellung könnte Hinweise darauf geben, ob die Probanden eine Distraktorbewegung als schwächer wahrnehmen, wenn diese auf eine Reihe von Distraktoren folgt. Zusätzlich könnte untersucht werden, ob Distraktor- und Zielbewegungen zu unterschiedlichen Nacheffekten führen.
- Ist der Motion Blindness Effekt abhängig von der Richtung der dargebotenen Distraktorbewegungen? Das Ziel der Bearbeitung dieser Fragestellung besteht darin, den postulierten Inhibitionsprozess im Motion Blindness Paradigma näher zu charakterisieren. Es könnte untersucht werden, inwieweit es sich bei dem inhibitorischen Prozess, der aufgrund der Darbietung von Distraktoren initiiert wird, um einen richtungsspezifischen Prozess handelt.
- Lassen sich die in der vorliegenden Arbeit gewonnenen Erkenntnisse zum Motion Blindness Effekt auf andere Paradigmen der selektiven Aufmerksamkeit übertragen? Anhand dieser Fragestellung sollte untersucht werden, inwieweit die beschriebenen Befunde zur Wirkung und Wirkungsweise von irrelevanten Distraktoren auch Gültigkeit in Variationen des Motion Blindness Paradigmas bzw. ähnlichen experimentellen Paradigmen haben.

8 Literaturverzeichnis

- Adams, W. J. & Mamassian, P. (2004). The effects of task and saliency on latencies for colour and motion processing. *Proceedings of the Royal Society of London Series B - Biological Science*, 271, 139-146.
- Anllo-Vento, L. & Hillyard, S. A. (1996). Selective attention to the color and direction of moving stimuli: Electrophysiological correlates of hierarchical feature selection. *Perception & Psychophysics*, 58, 191-206.
- Anstis, S., Verstraten, F. A. J. & Mather, G. (1998). The motion aftereffect. *Trends in Cognitive Sciences*, 2, 111-117.
- Arnold, D. H., Clifford, C. W. G. & Wenderoth, P. (2001). Asynchronous processing in vision: Color leads motion. *Current Biology*, 11, 596-600.
- Bach, M. & Ullrich, D. (1994). Motion adaptation governs the shape of motion-evoked cortical potentials. *Vision Research*, 34, 1541-1547.
- Baker, C. L., Hess, R. F. & Zihl, J. (1991). Residual motion perception in a "motion-blind" patient, assessed with limited-lifetime random dot stimuli. *The Journal of Neuroscience*, 11, 454-461.
- Bedell, H. E., Chung, S. T. L., Ogmen, H. & Patel, S. S. (2003). Color and motion: which is the tortoise and which is the hare? *Vision Research*, 43, 2403-2412.
- Behrmann, M., Zemel, R. S. & Mozer, M. C. (1998). Object-based attention and occlusion: Evidence from normal participants and a computational model. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24, 1011-1036.
- Berti, S. & Schröger, E. (2004). Distraction effects in vision: behavioral and event-related potential indices. *NeuroReport*, 15, 665-669.
- Bischof, W. F., Reid, S. L., Wylie, D. R. W. & Spetch, M. L. (1999). Perception of coherent motion in random dot displays by pigeons and humans. *Perception & Psychophysics*, 61, 1089-1101.
- Bonneh, Y. S., Cooperman, A. & Sagi, D. (2001). Motion-induced blindness in normal observers. *Nature*, 411, 798-801.
- Braddick, O. J., O'Brien, J. M. D., Wattam-Bell, J., Atkinson, J., Hartley, T. & Turner, R. (2001). Brain areas sensitive to coherent visual motion. *Perception*, 30, 61-72.
- Braun, J. (1998). Vision and attention: the role of training. *Nature*, 393, 424-425.
- Brehaut, J. C., Enns, J. T. & DiLollo, V. (1999). Visual masking plays two roles in the attentional blink. *Perception & Psychophysics*, 61, 1436-1448.

- Breitmeyer, B. G., Ehrenstein, A., Pritchard, K., Hiscock, M. & Crisan, J. (1999). The role of location specificity and masking mechanisms in the attentional blink. *Perception & Psychophysics*, *61*, 798-809.
- Breitmeyer, B.G. (1984). *Visual masking: an integrative approach*. Clarendon Press: Oxford; Oxford University Press: New York.
- Britten, K. H., Shadlen, M. N., Newsome, W. T. & Movshon, J. A. (1992). The analysis of visual motion: a comparison of neuronal and psychophysical performance. *The Journal of Neuroscience*, *12*, 4745-4765.
- Britten, K. H., Shadlen, M. N., Newsome, W. T. & Movshon, J. A. (1993). Responses of neurons in macaque MT to stochastic motion signals. *Visual Neuroscience*, *10*, 1157-1169.
- Broadbent, D. E. & Broadbent, M. H. P. (1987). From detection to identification: Response to multiple targets in rapid serial visual presentation. *Perception & Psychophysics*, *4*, 105-113.
- Büchel, C., Josephs, O., Rees, G., Turner, R., Frith, C. D. & Friston, K. J. (1998). The functional anatomy of attention to visual motion. *Brain*, *121*, 1281-1294.
- Bush, G., Luu, P. & Posner, M. I. (2000). Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, *4*, 215-222.
- Carter, C. S., Braver, T. S., Barch, D. M., Botvinick, M. M., Noll, D. & Cohen, J. D. (1998). Anterior cingulate cortex, error detection, and the online monitoring of performance. *Science*, *280*, 747-749.
- Casey, B. J., Yeung, N. & Fossella, J. (2002). Anterior cingulate cortex. In V. S. Ramachandran, *Encyclopedia of the Human Brain* (S.145-157). San Diego, CA: Academic Press.
- Chatrian, G. E., Lettich, E. & Nelson, P. L. (1985). Ten percent electrode system for topographic studies of spontaneous and evoked EEG activities. *American Journal of EEG Technology*, *25*, 83-92.
- Chaudhuri, A. (1990). Modulation of the motion aftereffect by selective attention. *Nature*, *344*, 60-62.
- Chun, M. M. & Potter, M. C. (1995). A two-stage model for multiple target-detection in rapid serial visual presentation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *21*, 109-127.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd edition)*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Cook, E. P. & Maunsell, J. H. R. (2002). Attentional modulation of behavioral performance and neuronal responses in middle temporal and ventral intraparietal areas of macaque monkey. *The Journal of Neuroscience*, *22*, 1994-2004.

- Courchesne, E. (1978). Changes in P3 waves with event repetition: long-term effects on scalp distribution and amplitude. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 45, 754-766.
- Courchesne, E., Hillyard, S. A. & Galambos, R. (1975). Stimulus novelty, task relevance and the visual evoked potential in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 39, 131-143.
- Czigler, I., Balázs, L. & Winkler, I. (2002). Memory-based detection of task-irrelevant visual changes. *Psychophysiology*, 39, 869-873.
- Dagnelie, G. (1986). *Pattern and motion processing in primate visual cortex*. Doktorarbeit, Universität von Amsterdam.
- Dalrymple-Alford, E. C. & Budayr, B. (1966). Examination of some aspects of the Stroop color-word test. *Perceptual & Motor Skills*, 23, 1211-1214.
- Dehaene, S., Posner, M. I. & Tucker, D. M. (1994). Localization of a neural system for error-detection and compensation. *Psychological Science*, 5, 303-305.
- Dien, J. (1998). Issues in the application of the average reference: Review, critiques, and recommendations. *Behavior Research Methods, Instruments & Computers*, 30, 34-43.
- Dien, J., Spencer, K. M. & Donchin, E. (2004). Parsing the late positive complex: Mental chronometry and the ERP components that inhabit the neighborhood of the P300. *Psychophysiology*, 41, 665-678.
- van Dijk, B. W., Dagnelie, G. & Spekreijse, H. (1987). Motion onset-offset visual evoked potentials from Rhesus visual cortex. In C. Barber & T. Blum, *Evoked potentials III: The third international evoked potentials symposium*. London: Butterworths.
- Donchin, E. (1979). Event-related brain potentials: A tool in the study of human information processing. In H. Begleiter, *Evoked brain potentials and behavior* (S. 13-88). New York: Plenum Press.
- Donchin, E. (1981). Surprise!...Surprise? *Psychophysiology*, 18, 493-513.
- Donchin, E. & Coles, M. G. H. (1988). Is the P300 component a manifestation of context updating? *Behavioral and Brain Sciences*, 11, 357-374.
- Driver, J. & Baylis, G. C. (1989). Movement and visual attention: The spotlight metaphor breaks down. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, 448-456.
- Duncan, J. & Humphreys, G. W. (1989). Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*, 96, 433-458.
- Duncan, J., Ward, R. & Shapiro, K. (1996). The slow time-course of visual attention. *Cognitive Psychology*, 30, 79-109.

- Duncan-Johnson, C. C. & Donchin, E. (1977). On quantifying surprise: The variation in event-related potentials with subjective probability. *Psychophysiology*, *14*, 456-467.
- Eimer, E. (1978). *Varianzanalyse. Eine Einführung*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Eimer, M. (1993). Effects of attention and stimulus probability on ERPs in a Go/Nogo task. *Biological Psychology*, *35*, 123-138.
- Eriksen, B. A. & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics*, *16*, 143-149.
- Eriksen, C. W. (1995). The flankers task and response competition: A useful tool for investigating a variety of cognitive problems. In C. Bundesen & H. Shibuya, *Visual selective attention. Visual Cognition 2* (S. 101-118). Hillsdale, NJ, England: Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- Eriksen, C. W. & Yeh, Y. Y. (1985). Allocation of attention in the visual field. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *5*, 583-597.
- Everling, S., Tinsley, C. J., Gaffan, D. & Duncan, J. (2002). Filtering of neural signals by focused attention in the monkey prefrontal cortex. *Nature Neuroscience*, *5*, 671-676.
- Falkenstein, M., Hohnsbein, J. & Hoormann, J. (1993). Late visual and auditory ERP components and choice reaction time. *Biological Psychology*, *35*, 201-224.
- Falkenstein, M., Hoormann, J. & Hohnsbein, J. (1997). Fehlerbezogene Komponenten im ereigniskorrelierten Potential (EKP). *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie, Band XLIV, Heft 1*, 117-138.
- Falkenstein, M., Hoormann, J. & Hohnsbein, J. (1999). ERP components in Go/Nogo tasks and their relation to inhibition. *Acta Psychologica*, *101*, 267-291.
- Falkenstein, M., Hoormann, J. & Hohnsbein, J. (2002). Inhibition-related ERP components: variation with modality, age, and time-on-task. *Journal of Psychophysiology*, *16*, 167-175.
- Felleman, D. J. & van Essen, D. C. (1991). Distributed hierarchical processing in primate cerebral cortex. *Cerebral Cortex*, *1*, 1-47.
- Fernandez-Duque, D. & Thornton, I. M. (2000). Change detection without awareness: do explicit reports underestimate the representation of change in the visual system? *Visual Cognition*, *7*, 323-344.
- ffytche, D. H., Guy, C. N. & Zeki, S. (1995). The parallel visual motion inputs into areas V1 and V5 of human cerebral cortex. *Brain*, *118*, 1375-1394.
- Fox, E. (1995). Negative priming from ignored distractors in visual selection: A review. *Psychonomic Bulletin & Review*, *2*, 145-173.
- 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*, 355-373.

- Garavan, H., Ross, T. J., Murphy, K., Roche, R. A. P. & Stein, E. A. (1999). Dissociable executive functions in the dynamic control of behavior: inhibition, error detection, and correction. *NeuroImage*, *17*, 1820-1829.
- Gehring, W. J., Coles, M. G. H., Meyer, D. E. & Donchin, E. (1990). The error-related negativity: An event-related brain potential accompanying errors. *Psychophysiology*, *27*, S34 (Abstract).
- Gehring, W. J., Fencsik, D. E. (2001). Functions of the medial frontal cortex in the processing of conflict and errors. *The Journal of Neuroscience*, *21*, 9430-9437.
- Göpfert, E., Schlykova, L. & Müller, R. (1988). Zur Topologie des Bewegungs-VEP am Menschen. *Zeitschrift für Elektromyographie, Elektroenzephalographie und verwandte Gebiete*, *19*, 14-20.
- Green, C. S. & Bavelier, D. (2003). Action video game modifies visual selective attention. *Nature*, *423*, 534-537.
- Greenhouse, S. W. & Geisser, S. (1959). On methods in the analysis of profile data. *Psychometrika*, *24*, 95-112.
- Grindley, G. C. & Townsend, V. (1965). Binocular masking induced by a moving object. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *17*, 97-109.
- Haig, A. R., Gordon, E. & Hook, S. (1997). To scale or not to scale: McCarthy and Wood revisited. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, *103*, 323-325.
- Hansen, J. C. & Hillyard, S. A. (1980). Endogenous brain potentials associated with selective auditory attention. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *49*, 277-290.
- Hauk, O. & Pulvermüller, F. (2004). Effects of word length and frequency on the human event-related potential. *Clinical Neurophysiology*, *115*, 1090-1103.
- Hesselmann, G., Hay, J., Niedeggen, M. & Sahraie, A. (2002). How does attention affect motion perception? Insights from motion blindness. Posterbeitrag auf der Experimental Psychology Conference (EPC), Leuven.
- Hillyard, S. E. & Münte, T. F. (1984). Selective attention to color and location: An analysis with event-related potentials. *Perception & Psychophysics*, *36*, 185-198.
- Hohnsbein, J., Falkenstein, M. & Hoormann, J. (1989). Error processing in visual and auditory choice reaction tasks. *Journal of Psychophysiology*, *3*, 320 (Abstract).
- Holm, S. (1979). A simple sequentially rejective multiple test procedure. *Scandinavian Journal of Statistics*, *6*, 65-70.
- Hopf, J. M., Boelmans, K., Schoenfeld, A. M., Heinze, H. J. & Luck, S. J. (2002). How does attention attenuate target-distractor interference in vision? Evidence from magnetoencephalographic recordings. *Cognitive Brain Research*, *15*, 17-29.

- Hruby, T. & Marsalek, P. (2003). Event-related potentials - the P3 wave. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 63, 55-63.
- Huynh, H. & Feldt, L. S. (1976). Estimation of the Box correction for degrees of freedom from sample data in randomized block and split-plot designs. *Journal of Educational Statistics*, 1, 69-82.
- Jasper, H. H. (1958). The ten twenty electrode system of the International Federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10, 371-375.
- Johnson, R. & Donchin, E. (1985). Second thoughts: Multiple P300s elicited by a single stimulus. *Psychophysiology*, 22, 182-194.
- Karayanidis, F. & Michie, P. T. (1996). Frontal processing negativity in a visual selective attention task. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 99, 38-56.
- Kenemans, J. L., Grent-t' Jong, T. & Verbaten, M. N. (2003). Detection of visual changes: mismatch or rareness? *NeuroReport*, 14, 1239-1242.
- Keselman, H. J., Rogan, J. C., Mendoza, J. L. & Breen, L. J. (1980). Testing the validity conditions of repeated measures F tests. *Psychological Bulletin*, 87, 479-481.
- Kiefer, M., Marzinzik, F., Weisbrod, M., Scherg, M. & Spitzer, M. (1998). The time course of brain activation during response inhibition: evidence from event-related potentials in a go/no go task. *NeuroReport*, 9, 765-770.
- Kiehl, K. A., Liddle, P. F. & Hopfinger, J. B. (2000). Error processing and the rostral anterior cingulate: an event-related fMRI study. *Psychophysiology*, 36, 765-774.
- Knight, R. T. & Scabini, D. (1998). Anatomic bases of event-related potentials and their relationship to novelty detection in humans. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 15, 3-13.
- Kok, A. (1997). Event-related potential (ERP) reflections of mental resources: a review and synthesis. *Biological Psychology*, 45, 19-56.
- Kok, A. (1999). Varieties of inhibition: manifestations in cognition, event-related potentials and aging. *Acta Psychologica*, 101, 129-158.
- Kolb, F. C. & Braun, J. (1995). Blindsight in normal observers. *Nature*, 377, 336-338.
- Kranczioch, C., Debener, S. & Engel, A. (2003). Event-related potential correlates of the attentional blink phenomenon. *Cognitive Brain Research*, 17, 177-187.
- Kristjánsson, Á. & Nakayama, K. (2002). The attentional blink in space and time. *Vision Research*, 42, 2039-2050.
- Kubová, Z., Kuba, M., Hubacek, J. & Vit, F. (1990). Properties of visual evoked potentials to onset of movement on a television screen. *Documenta Ophthalmologica*, 75, 67-72.
- Kubová, Z., Kuba, M., Spekreijse, H. & Blakemore, C. (1995). Contrast dependence of motion-onset and pattern-reversal evoked potentials. *Vision Research*, 35, 197-205.

- Kunst-Wilson, W. R. & Zajonc, R. B. (1980). Affective discrimination of stimuli that cannot be identified. *Science*, 207, 557-558.
- Lamme, V. A. F. (2003). Why visual attention and awareness are different. *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 12-18.
- Lamme, V. A. F. & Roelfsema, P. R. (2000). The distinct modes of vision offered by feedforward and recurrent processing. *Trends in Neurosciences*, 23, 571-579.
- Lavie, N. (1995). Perceptual load as a necessary condition for selective attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 451-468.
- Lavie, N. & Tsal, Y. (1994). Perceptual load as a major determinant of the locus of selection in visual attention. *Perception & Psychophysics*, 56, 183-197.
- Levine, T. R. & Hullett, C. R. (2002). Eta squared, partial eta squared, and misreporting of effect size in communication research. *Human Communication Research*, 28, 612-625.
- Livingstone, M. S. & Hubel, D. (1987). Psychophysical evidence for separate channels for the perception of form, color, movement, and depth. *The Journal of Neuroscience*, 7, 3416-3468.
- Luck, S. J. (1998). Sources of dual-task interference: evidence from human electrophysiology. *Psychological Science*, 9, 223-227.
- Luck, S. J. & Hillyard, S. A. (1995). The role of attention in feature detection and conjunction discrimination: An electrophysiological analysis. *International Journal of Neuroscience*, 80, 281-297.
- Luck, S. J., Vogel, E. K. & Shapiro, K. L. (1996). Word meanings can be accessed but not reported during the attentional blink. *Nature*, 382, 616-618.
- Luck, S. J., Woodman, G. F. & Vogel, E. K. (2000). Event-related potential studies of attention. *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 432-440.
- Mack, A. (2003). Inattention blindness: looking without seeing. *Current Directions in Psychological Science*, 12, 180-184.
- Mack, A. & Rock, I. (1998). *Inattention Blindness*. Cambridge, MA: MIT Press.
- MacLeod, C. (1991). Half a century of research on the Stroop effect: An integrative review. *Psychological Bulletin*, 109, 163-203.
- Mauchly, J. W. (1940). Significance test for sphericity of n-variate normal populations. *Annals of Mathematical Statistics*, 11, 204-209.
- May, C. P., Kane, M. J. & Hasher, L. (1995). Determinants of negative priming. *Psychological Bulletin*, 118, 35-54.
- Mayr, S., Niedeggen M., Buchner, A. & Pietrowsky, R. (2003). ERP correlates of auditory negative priming. *Cognition*, 90, B11-B21.

- McArthur, G., Budd, T. & Michie, P. (1999). The attentional blink and P300. *NeuroReport*, 10, 3691-3695.
- McCarthy, G. & Wood, C. C. (1985). Scalp distributions of event-related potentials: an ambiguity associated with analysis of variance models. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 62, 203-208.
- McConnell, J. V., Cutler, R. L. & McNeil, E. B. (1958). Subliminal stimulation. An overview. *American Psychologist*, 13, 229-242.
- McConkie, G. W. & Zola, D. (1979). Is visual information integrated across successive fixations in reading? *Perception and Psychophysics*, 25, 221-224.
- Merikle, P. M., Smilek, D. & Eastwood, J. D. (2001). Perception without awareness: perspectives from cognitive psychology. *Cognition*, 79, 115-134.
- Michalski, A. (2000). Expectation of an important event affects responses to irrelevant stimuli of different modalities. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 60, 467-478.
- Michalski, A. (2001). Interactions between P300 and passive probe responses differ in different cortical areas. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 61, 93-104.
- Mihail, A. (2002). Welchen Einfluss haben Distraktoren auf die Suppression der Bewegungswahrnehmung? Eine elektrophysiologische Untersuchung. Diplomarbeit an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf.
- Milders, M., Hay, J., Sahraie, A. & Niedeggen, M. (2004). Central inhibition ability modulates attention-induced motion blindness. *Cognition*, (im Druck).
- Miller, G. A., Lutzenberger, W. & Elbert, T. (1991). The linked-reference issue in EEG and ERP recording. *Journal of Psychophysiology*, 5, 273-276.
- Monsell, S. (2003). Task switching. *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 134-140.
- Moutoussis, K. & Zeki, S. (1997a). A direct demonstration of perceptual asynchrony in vision. *Proceedings of the Royal Society of London Series B - Biological Science*, 264, 393-399.
- Moutoussis, K. & Zeki, S. (1997b). Functional segregation and temporal hierarchy of the visual perceptive systems. *Proceedings of the Royal Society of London Series B - Biological Science*, 264, 1407-1414.
- Näätänen, R. (1982). Processing negativity: an evoked-potential reflection of selective attention. *Psychological Bulletin*, 92, 605-640.
- Näätänen, R., Gaillard, A. W. K. & Mäntysalo, S. (1978). Early selective-attention effect on evoked potential reinterpreted. *Acta Psychologica*, 42, 313-329.
- Nakamura, H., Kashii, S., Nagamine, T., Matsui, Y., Hashimoto, T., Honda, Y. & Shibasaki, H. (2003). Human V5 demonstrated by magnetoencephalography using random dot kinematograms of different coherence levels. *Neuroscience Research*, 46, 423-433.

- Nash, A. J. & Fernandez, M. (1996). P300 and allocation of attention in dual-tasks. *International Journal of Psychophysiology*, 23, 171-180.
- Neill, W. T. (1997). Episodic retrieval in negative priming and repetition priming. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 23, 1291-1305.
- Neill, W. T. & Westberry, R. L. (1987). Selective attention and the suppression of cognitive noise. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 13, 327-334.
- Neill, W. T., Valdes, C. A., Terry, K. M. & Gorfein, D. S. (1992). Persistence of negative priming: II. Evidence for episodic trace retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*, 18, 993-1000.
- Neisser, U. & Becklen, R. (1975). Selective looking: Attending to visually specified events. *Cognitive Psychology*, 7, 480-494.
- Newsome, W. T. & Paré, E. B. (1988). A selective impairment of motion perception following lesions of the middle temporal visual area (MT). *The Journal of Neuroscience*, 8, 2201-2211.
- Newsome, W. T., Britten, K. H. & Movshon, J. A. (1989). Neuronal correlates of a perceptual decision. *Nature*, 341, 52-54.
- Nichols, M. J. & Newsome, W. T. (2002). Middle temporal visual area microstimulation influences veridical judgments of motion direction. *The Journal of Neuroscience*, 22, 9530-9540.
- Niedeggen, M. & Wist, E. R. (1999). Characteristics of visual evoked potentials generated by motion coherence onset. *Cognitive Brain Research*, 8, 95-105.
- Niedeggen, M., Sahraie, A., Hesselmann, G., Milders, M. & Blakemore, C. (2002). Is experimental motion blindness due to sensory suppression? An ERP approach. *Cognitive Brain Research*, 13, 241-247.
- Nishida, S. & Johnston, A. (2002). Marker correspondence, not processing latency, determines temporal binding of visual attributes. *Current Biology*, 12, 359-368.
- O'Brien, R. G. & Kaiser, M. K. (1985). MANOVA method for analyzing repeated measures designs: An extensive primer. *Psychological Bulletin*, 97, 316-333.
- Pashler, H. & Johnston, J.C. (1998). Attentional limitations in dual-task performance. In H. Pashler, *Attention* (S. 155-189). Hove, UK: Psychology Press.
- Pazo-Alvarez, P., Amenedo, E. & Cadaveira, F. (2004). Automatic detection of motion direction changes in the human brain. *European Journal of Neuroscience*, 19, 1978-1986.
- Pazo-Alvarez, P., Cadaveira, F. & Amenedo, E. (2003). MMN in the visual modality: a review. *Biological Psychology*, 63, 199-236.
- Perrin, F., Pernier, J., Bertrand, O. & Echallier, J. F. (1989). Spherical splines for scalp potential and current density mapping. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 72, 184-187.

- Perrin, F., Pernier, J., Bertrand, O. & Echallier, J. F. (1990). Corrigenda: EEG 02274. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 76, 565.
- Pfefferbaum, A., Ford, J. M., Weller, B. J. & Kopell, B. S. (1985). ERPs to response production and inhibition. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 60, 423-434.
- Picton, T. M. & Stuss, D. T. (1980). The component structure of the human event-related potentials. In H. H. Kornhuber & L. Deecke, *Motivation, Motor and Sensory Processes of the Brain, Progress in Brain Research*, 54 (S. 17-49). Elsevier/ North Holland: Biomedical Press.
- Picton, T. W., Alain, C., Otten, L., Ritter, W. & Achim, A. (2000). Mismatch negativity: different water in the same river. *Audiology Neuro-Otology*, 5, 111-139.
- Picton, T. W., Bentin, S., Berg, P., Donchin, E., Hillyard, S. A., Johnson, R., Miller, G. A., Ritter, W., Ruchkin, D. S., Rugg, M. D. & Taylor, M. J. (2000). Guidelines for using event-related potentials to study cognition: Recording standards and publication criteria. *Psychophysiology*, 37, 127-152.
- Pinilla, T., Cobo, A., Torres, K. & Valdes-Sosa, M. (2001). Attentional shifts between surfaces: effects on detection and early brain potentials. *Vision Research*, 41, 1619-1630.
- Polich, J. & Kok, A. (1995). Cognitive and biological determinants of P300: an integrative review. *Biological Psychology*, 41, 103-146.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 3-25.
- Posner, M. I. & DiGirolamo, G. J. (1998). Executive attention: conflict, target detection, and cognitive control. In R. Parasuraman, *The attentive brain* (S. 401-424). Cambridge: MIT Press.
- Posner, M. I. & Snyder, C. R. R. (1975). Attention and cognitive control. In R. L. Solso, *Information Processing and Cognition*. Wiley: New York.
- Raymond, J. E. (1993). Directional anisotropy of motion sensitivity across the visual field. *Vision Research*, 34, 1029-1037.
- Raymond, J. E. (2000). Attentional modulation of visual motion perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 42-50.
- Raymond, J. E. & Isaak, M. (1998). Successive episodes produce direction contrast effects in motion perception. *Vision Research*, 38, 579-590.
- Raymond, J. E., O'Donnell, H. L. & Tipper, S. P. (1998). Priming reveals attentional modulation of human motion sensitivity. *Vision Research*, 38, 2863-2867.
- Raymond, J. E., Shapiro, K. L. & Arnell, K. M. (1992). Temporary suppression of visual processing in an RSVP task: An attentional blink? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 849-860.

- Rees, G., Friston, K. & Koch, C. (2000). A direct quantitative relationship between the functional properties of human and macaque V5. *Nature Neuroscience*, 3, 716-723.
- Rees, G., Frith, C. D. & Lavie, N. (1997). Modulating irrelevant motion perception by varying attentional load in an unrelated task. *Science*, 278, 1616-1619.
- Rees, G., Russell, C., Frith, C. D. & Driver, J. (1999). Inattention blindness versus inattention amnesia for fixated but ignored words. *Science*, 286, 2504-2507.
- Rensink, R. A. (2001). Change Blindness: Implications for the Nature of Attention. In M. R. Jenkin & L. R. Harris, *Vision and Attention* (S. 169-188). New York: Springer.
- Rockstroh, B., Elbert, T., Canavan, A., Lutzenberger, W. & Birbaumer, N. (1989). *Slow cortical potentials and behaviour*. Munich: Urban & Schwarzenberg.
- Rockstroh, B., Müller, M., Cohen, R. & Elbert, T. (1992). Probing the functional brain state during P300-evocation. *Journal of Psychophysiology*, 6, 175-184.
- Rösler, F. (1988). The P300 event-related potentials: A one-humped dromedary's saddle on a two-humped camel. *Behavioral and Brain Sciences*, 11, 392-393.
- Rösler, F., Clausen, G. & Sojka, B. (1986). The double-priming paradigm: a tool for analyzing the functional significance of endogenous event-related brain potentials. *Biological Psychology*, 22, 239-268.
- Rösler, F., Pütz, P., Friederici, A. & Hahne, A. (1993). Event-related brain potentials while encountering semantic and syntactic constraint violations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5, 345-362.
- Rösler, F., Streb, J. & Haan, H. (2001). Event-related brain potentials evoked by verbs and nouns in a primed lexical decision task. *Psychophysiology*, 38, 694-703.
- Saenz, M., Buracas, G. T. & Boynton, G. M. (2002). Global effects of feature-based attention in human visual cortex. *Nature Neuroscience*, 5, 631-632.
- Sahraie, A., Milders, M. & Niedeggen, M. (2001). Attention induced motion blindness. *Vision Research*, 41, 1613-1617.
- Salzman, C. D., Britten, K. H. & Newsome, W. T. (1990). Cortical microstimulation influences perceptual judgements of motion direction. *Nature*, 346, 174-177.
- Scase, M. O., Braddick, O. J. & Raymond, J. E. (1996). What is noise for the motion system? *Vision Research*, 36, 2579-2586.
- Schmolesky, M. T., Wang, Y., Hanes, D. P., Thompson, K. G., Leutgeb, S., Schall, J. D. & Leventhal, A. G. (1998). Signal timing across the macaque visual system. *Journal of Neurophysiology*, 79, 3272-3278.
- Shadlen, M. N. & Newsome, W. T. (2001). Neural basis of a perceptual decision in the parietal cortex (area LIP) of the rhesus monkey. *Journal of Neurophysiology*, 86, 1916-1936.

- Shapiro, K. L. & Raymond, J. E. (1994). Temporal allocation of visual attention: Inhibition or interference. In D. Dagenbach & T. H. Carr, *Inhibitory Processes in Attention, Memory, and Language* (S. 151-188). San Diego, CA: Academic Press.
- Shapiro, K. L., Arnell, K. M. & Raymond, J. E. (1997). The attentional blink. *Trends in Cognitive Sciences, 1*, 291-296.
- Shiffrin, R. M. & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending, and a general theory. *Psychological Review, 84*, 127-190.
- Shore, D. I., Spence, C. & Klein, R. M. (2001). Visual prior entry. *Psychological Science, 12*, 205-212.
- Simons, D. J. (2000a). Attentional capture and inattention blindness. *Trends in Cognitive Sciences, 4*, 147-155.
- Simons, D. J. (2000b). Current approaches to change blindness. *Visual Cognition, 7*, 1-16.
- Simons, D. J. & Levin, D. T. (1997). Change blindness. *Trends in Cognitive Sciences, 1*, 261-267.
- Simons, R. F., Graham, F. K., Miles, M. A. & Chen, X. (2001). On the relationship of P3a and Novelty-P3. *Biological Psychology, 56*, 207-218.
- Simson, R., Vaughan, H. G. Jr. & Ritter, W. (1977). The scalp topography of potentials in auditory and visual Go/NoGo tasks. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 43*, 864-875.
- Snowden, R. J. (1994). Motion processing in the primate cerebral cortex. In A. T. Smith & R. J. Snowden, *Visual Detection of Motion* (S. 51-83). Academic Press.
- Snowden, R. J., Treue, S., Erickson, R. G. & Andersen, R. A. (1991). The response of area MT and V1 neurons to transparent motion. *The Journal of Neuroscience, 11*, 2768-2785.
- Snowden, R. J. & Verstraten, F. A. J. (1999). Motion transparency: making models of motion perception transparent. *Trends in Cognitive Sciences, 3*, 369-377.
- Spencer, K. M., Dien, J. & Donchin, E. (2001). Spatiotemporal analysis of the late ERP responses to deviant stimuli. *Psychophysiology, 38*, 343-358.
- Squires, N. K., Squires, K. C. & Hillyard, S. A. (1975). Two varieties of long-latency positive waves evoked by unpredictable auditory stimuli in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 38*, 387-401.
- Stablum, F., Ricci, R., Pavese, A. & Umiltà, C. (2001). Global/local processing and negative priming: the influence of selection difficulty and stimulus exposure. *Psychological Research, 65*, 81-97.

- Strayer, D. L. & Grison, S. (1999). Negative identity priming is contingent on stimulus repetition. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25, 24-38.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 643-662.
- Styles, E. A. (1997). Selective report and interference effects in visual attention. In E. Styles, *The Psychology of Attention* (S. 33-59). East Sussex, UK: Psychology Press.
- Sutton, S., Braren, M., Zubin, J. & John, E. R. (1965) Evoked-potential correlates of stimulus uncertainty. *Science*, 150, 1187-1189.
- Tipper, S. P. (1985). The negative priming effect: Inhibitory priming by ignored objects. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 37A, 571-590.
- Tipper, S. P. & Cranston, M. (1985). Selective attention and priming: inhibitory and facilitatory effects of ignored primes. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 37A, 591-611.
- Tipper, S. P., Weaver, B., Cameron, S., Brehaut, J. C. & Bastedo, J. (1991). Inhibitory mechanisms of attention in identification and localization tasks: time course and disruption. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*, 17, 681-692.
- Treisman, A. & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97-136.
- Treue, S. (2001). Neural correlates of attention in primate visual cortex. *Trends in Neurosciences*, 24, 295-300.
- Treue, S. (2003). Climbing the cortical ladder from sensation to perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 469-471.
- Treue, S. & Martínez-Trujillo, J. C. (1999). Feature-based attention influences motion processing in macaque visual cortex. *Nature*, 399, 575-579.
- Treue, S. & Maunsell, J. H. R. (1996). Attentional modulation of visual motion processing in cortical areas MT and MST. *Nature*, 382, 539-541.
- Tsal, Y. (1983). Movements of attention across the visual field. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 9, 523-530.
- Valdes-Sosa, M., Bobes, M. A., Rodriguez, V. & Pinilla, T. (1998). Switching attention without switching the spotlight: object-based attentional modulation of brain potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10, 137-151.
- Valdes-Sosa, M., Cobo, A. & Pinilla, T. (2000). Attention to object files defined by transparent motion. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 26, 488-505.

- Verleger, R. (1988). Event-related potentials and cognition: A critique of the context updating hypothesis and an alternative interpretation of P3. *Behavioral and Brain Sciences*, *11*, 343-427.
- Verleger, R., Jaskowski, P. & Wauschkuhn, B. (1994). Suspense and surprise: On the relationship between expectancies and P3. *Psychophysiology*, *31*, 359-369.
- Visser, T. A. W., Zuvic, S. M., Bischof, W. F. & DiLollo, V. (1999). The attentional blink with targets in different spatial locations. *Psychonomic Bulletin & Review*, *6*, 432-436.
- Viviani, P. & Aymoz, C. (2001). Colour, form, and movement are not perceived simultaneously. *Vision Research*, *41*, 2909-2918.
- Vogel, E., Luck, S. J. & Shapiro, K. L. (1998). Electrophysiological evidence for a postperceptual locus of suppression during the attentional blink. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *24*, 1656-1674.
- Wallace, J. M. & Mamassian, P. (2003). The efficiency of speed discrimination for coherent and transparent motion. *Vision Research*, *43*, 2795-2810.
- Wang, J., Jin, Y., Xiao, F., Fan, S. & Chen, L. (1999). Attention-sensitive visual event-related potentials elicited by kinetic forms. *Clinical Neurophysiology*, *110*, 329-341.
- Williams, D. W. & Sekuler, R. (1984). Coherent global motion percepts from stochastic local motions. *Vision Research*, *24*, 55-62.
- Williams, Z. V., Elfar, J. C., Eskandar, E. N., Toth, L. J. & Assad, J. A. (2003). Parietal activity and the perceived direction of ambiguous apparent motion. *Nature Neuroscience*, *6*, 616-623.
- Wolfe, J. (1999). Inattentional amnesia. In V. Coltheart, *Fleeting memories* (S. 71-94). Cambridge, MA: MIT Press.
- Wolfe, J. M. (1998). What can 1 million trials tell us about visual search? *Psychological Science*, *9*, 33-39.
- Wolfe, J. M. (2003). Moving towards solutions to some enduring controversies in visual search. *Trends in Cognitive Sciences*, *7*, 70-76.
- Woodman, G. F. & Luck, S. J. (1999). Electrophysiological measurement of rapid shifts of attention during visual search. *Nature*, *400*, 867-869.
- Woods, D. L., Courchesne, E., Hillyard, S. A. & Galambos, R. (1980a). Recovery cycles of event-related potentials in multiple detection tasks. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *50*, 335-347.
- Woods, D. L., Courchesne, E., Hillyard, S. A. & Galambos, R. (1980b). Split-second recovery of the P3 component in multiple decision tasks. In H. H. Kornhuber & L. Deecke, *Motivation, Motor and Sensory Processes of the Brain, Progress in Brain Research*, *54* (S. 322-330). Elsevier/ North Holland: Biomedical Press.

- Woodward, S. H., Brown, W. S., Marsh, J. T. & Dawson, M. E. (1991). Probing the time-course of the auditory oddball P3 with secondary reaction time. *Psychophysiology*, 28, 609-618.
- Yantis, S. (1998). Control of visual attention. In H. Pashler, *Attention* (S. 223-256). East Sussex, UK: Psychology Press.
- Zanker, J. M. & Braddick, O. J. (1999). How does noise influence the estimation of speed? *Vision Research*, 39, 2411-2420.
- Zeki, S. (1978). Functional specialisation in the visual cortex of the rhesus monkey. *Nature*, 274, 423-428.
- Zeki, S. (1998). Parallel processing, asynchronous perception, and a distributed system of consciousness in vision. *The Neuroscientist*, 4, 365-372.
- Zeki, S. (2003). The disunity of consciousness. *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 214-218.
- Zohary, E., Scase, M. O. & Braddick, O. J. (1996). Integration across directions in dynamic random dot displays: vector summation or winner take all? *Vision Research*, 36, 2321-2331.

Gedruckt mit der Genehmigung
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Referent: HD Dr. Michael Niedeggen
Korreferent: Prof. Dr. Martin Heil

Tag der mündlichen Prüfung: 14.01.2005