# Ereignisbezogene Veränderungen der visuellen Fixationsdauer

## DISSERTATIONSSCHRIFT

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

vorgelegt

der Fakultät Mathematik und Naturwissenschaften
der Technischen Universität Dresden

von

Dipl.-Psych. Sebastian Pannasch
geboren am 27.11.1972 in Dresden

Gutachter: Prof. Boris M. Velichkovsky
Prof. Thomas Goschke
Prof. Joachim Hoffmann

Eingereicht am: 12.06.2003

# DANKSAGUNG

Mein erster Dank gilt Professor Boris M. Velichkovsky für die Betreuung bei der Planung und Realisierung der Arbeit. Neben vielen wertvollen wissenschaftlichen Hinweisen, waren vor allem das mir entgegenbrachte Vertrauen sowie die herzliche und freundliche Art eine sehr motivierende Unterstützung für mich.

Markus Joos bin ich vor allem für die vielfache Unterstützung bei der technischen Umsetzung der durchgeführten Untersuchungen zu Dank verpflichtet. Bei der Lösung der zahlreichen spezifischen Probleme, die bei der Programmierung der einzelnen Experimente auftraten, war er stets eine unschätzbare Hilfe.

Johannes Marx danke ich für die freundliche Kooperation bei der Datenerhebung. Vor allem bei der Aufzeichnung und der Auswertung der EEG Daten war seine Mitarbeit eine enorme Unterstützung.

Dr. Pieter Unema hat mir entscheidend bei der Einarbeitung in das Themengebiet geholfen. Durch die zahlreichen Diskussionen und kritischen Anmerkungen, sowie die wertvollen Hinweise bei der statistischen Auswertung der Daten hat er entscheidend zum Gelingen der Arbeit beigetragen.

Jens Schmidt möchte ich für die anregenden Diskussionen, hilfreichen Ratschläge und kritischen Anmerkungen danken. Nicht zuletzt waren seine Kommentare sehr aufschlussreich für das allgemeine Verständnis wissenschaftlichen Arbeitens.

Constanze Liebers gilt mein besonderer Dank für die zuverlässige und freundschaftliche Unterstützung bei allen organisatorischen Fragen.

Jens Helmert danke ich herzlich für seine wertvollen Hinweise und Korrekturvorschläge.

Alexandra Rothert und Sascha Dornhöfer danke ich für die freundschaftliche Unterstützung und Zusammenarbeit an unserem Institut.

Professor Thomas Goschke danke ich vielmals für die Unterstützung bei der Betreuung und der Bereitschaft zur Begutachtung der vorliegenden Arbeit.

Professor Joachim Hoffmann vom Institut für Kognitive Psychologie der Universität Würzburg danke ich für die fachlich wie persönlich gute Zusammenarbeit und seine Bereitschaft zur externen Begutachtung der Arbeit.

# INHALTSVERZEICHNIS


**1 Einleitung ..... 1**

**2 Theoretische Vorbetrachtungen ..... 3**

2.1 Parameter der Blickbewegungen ..... 3
2.1.1 Fixationen und Sakkaden ..... 3
2.1.2 Dauer und Verteilungsform von Fixationen ..... 4
2.1.3 Sakkadenlatenz ..... 6

2.2 Physiologische Grundlagen visueller Informationsverarbeitung und der Blicksteuerung ..... 7
2.2.1 Frontales Augenfeld ..... 8
2.2.2 Der Superior Colliculus ..... 10
2.2.3 Ein Modell zur Generierung sakkadischer Augenbewegungen ..... 13

2.3 Die Methode blickkontingenter Untersuchungen ..... 14

2.4 Die Fixationsdauer im Kontext der Wahrnehmung von Szenen und der Leseforschung ..... 15
2.4.1 Untersuchungen zur Wahrnehmung von Szenen ..... 15
2.4.2 Untersuchungen zum Lesen ..... 20

2.5 Der Distraktoreffekt ..... 21
2.5.1 Modellvorstellungen zum Distraktoreffekt ..... 23
2.5.2 Voruntersuchung und Erklärungsvorschlag ..... 24

2.6 Orientierungsreaktion ..... 26
2.6.1 Orientierungsreaktion und ereigniskorrelierte Potentiale ..... 28

**3 Fragestellungen und Ablauf ..... 29**

**4 Ziele ..... 31**

**5 Experimentelle Untersuchungen ..... 32**

5.1 Methoden - globales Design ..... 32
5.1.2 Stimulusmaterial ..... 32
5.1.3 Versuchsablauf ..... 33

5.2 Experiment 1: Unterschiedliche Modalitäten und verschiedene Latenzen ..... 34
5.2.1 Hypothesen ..... 36
5.2.2 Methode ..... 36
5.2.3 Ergebnisse ..... 37
5.2.4 Diskussion ..... 51

5.3 Experiment 2: Unterschiedliche Darbietungsvarianten und verschiedene Latenzen ..... 52
5.3.1 Hypothesen ..... 52
5.3.2 Methode ..... 53
5.3.3 Ergebnisse ..... 54
5.3.4 Diskussion ..... 61

5.4 Experiment 3: Unterschiedliche Modalitäten und EEG-Ableitung ..... 62
5.4.1 Hypothesen ..... 63
5.4.2 Methode ..... 63
5.4.3 Ergebnisse ..... 65
5.4.4 Diskussion ..... 79
5.5 Experiment 4: Explorative Studie mit Neglectpatienten ..... 80
5.5.1 Hypothesen ..... 81
5.5.2 Methode ..... 81
5.5.3 Ergebnisse ..... 82
5.5.4 Diskussion ..... 85
**6 Diskussion ..... 87**
**7 Ausblick ..... 90**
**Literaturverzeichnis ..... 92**
**Abbildungsverzeichnis ..... 102**
**Tabellenverzeichnis ..... 105**

# 1 EINLEITUNG

Die Analyse von Blickbewegungen hat sich seit den Anfängen der experimentellen Psychologie zu einer anerkannten Methode bei der Untersuchung von Aufmerksamkeits- und Informationsverarbeitungsprozessen entwickelt. Besonders vorteilhaft erweist sich dabei, dass beim Sehen – im Gegensatz zum Hören beispielsweise – die Ausrichtung der Augen physikalisch messbar ist und darüber hinaus im Allgemeinen der Fixationsort gleichzeitig als der Ort gilt, auf den die visuelle Aufmerksamkeit ausgerichtet ist. Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass sich die Darbietung visueller Reize recht einfach gestaltet und eine Abfrage über das wahrgenommene Material einfach und recht valide realisierbar ist. Vor allem durch die Verbesserung der Messsysteme findet die Aufzeichnung und Auswertung von Blickbewegungen immer breitere Akzeptanz. Während bis vor einigen Jahren die Registrierung von Augenbewegungen vorwiegend für Forschungsfragen genutzt wurde, findet die Nutzung dieser Analyse in immer stärker werdendem Maße auch in praktischen Bereichen statt.

Um den Einsatz in verschiedensten Bereichen des Alltags umzusetzen und zu rechtfertigen, ist nicht nur ein Grundverständnis des Aufbaus und der Funktionsweise des (menschlichen) Auges notwendig, sondern auch der zugrunde liegenden Prozesse visueller Informationsverarbeitung. Die dafür notwendigen Grundlagen liefern verschiedenste Wissenschaftsbereiche, wie Biologie, Physik, Medizin, vor allem aber auch unterschiedliche Forschungsbereiche der Psychologie.

Neben der Analyse von Blickorten steht dabei insbesondere das Wechselspiel von Sakkaden und Fixationen im Vordergrund. Dabei haben sich durch eine breite Vielfalt experimenteller Untersuchungen eine Reihe von Parametern etabliert, die mittlerweile als relativ gesichert angesehen werden können. Mit der Weiterentwicklung der technischen Möglichkeiten auf dem Gebiet der Blickbewegungsregistrierung haben sich, wie bereits erwähnt die Einsatzgebiete entscheidend vergrößert. Während bis vor wenigen Jahren vor allem einfaches Stimulusmaterial in statischen Umgebungen für die Untersuchungen verwendet wurde, besteht gegenwärtig der Trend zu eher realitätsgetreueren Darstellungen. Dabei findet die Analyse des Blickverhaltens zunehmend auch in dynamischen Umgebungen statt. In diesem Zusammenhang erscheint es notwendig zu überprüfen, inwieweit sich die vorhandenen Erkenntnisse auf komplexeres Stimulusmaterial (z.B. Gemälde oder auch virtuelle Realitäten) übertragen lassen.

Die vorliegende Arbeit soll dazu beitragen, vorhandene Erkenntnisse über die Dauer visueller Fixationen kritisch zu betrachten. Bei der Analyse von Blickbewegungen gilt der Parameter der Fixationsdauer als eine der am häufigsten verwendeten Messgrößen. Dabei wird von folgendem Zusammenhang ausgegangen:

Mit steigender Dauer nimmt die Verarbeitungstiefe zu (Kahneman, 1973; Velichkovsky, 2001). In einer Reihe von Untersuchungen soll dargelegt werden, dass die Dauer von einzelnen Fixationen auf entscheidende Weise durch externe Ereignisse moduliert wird. Dadurch erscheint es notwendig, das Konzept der Fixationsdauer neu zu definieren. Weiterhin sollen die Ergebnisse der dargestellten Untersuchungen neue Erkenntnisse über Prozesse der Blicksteuerung bieten.

Der Ansatz der vorliegenden Arbeit lässt sich auf zwei Forschungsgebiete aus dem Bereich der Wahrnehmungs- bzw. Blickbewegungsforschung zurückführen. Einerseits basieren die Untersuchungen auf Experimenten zu dem Phänomen des sogenannten *remote distractor effect* (Walker, Deubel, Schneider, & Findlay, 1997). Dabei handelt es sich um Auswirkungen der Darbietung von Distraktoren (zusätzlich zu einem Zielreiz) auf die sakkadische Reaktionszeit. Zum anderen gründen die vorgestellten Experimente auf Erkenntnissen zu blickkontingenten Untersuchungen beim Lesen bzw. der Wahrnehmung komplexer Szenen. Innerhalb der beiden Forschungsansätze findet eine gezielte Untersuchung und Analyse der Auswirkungen unterschiedlichen Reizmaterials (z.B. verschiedene Texte oder Bilder) auf die Fixationsdauer bzw. auf die sakkadische Reaktionszeit statt. Gegenwärtig existierende Erklärungsansätze sollen im Bezug zu den gefundenen Ergebnissen dargestellt und kritisch bewertet werden. Darüber hinaus soll ein Modell für die gefundenen Effekte dargelegt und diskutiert werden.

# 2 THEORETISCHE VORBETRACHTUNGEN

## 2.1 Parameter der Blickbewegungen

Wie bereits eingangs erwähnt, ist das typische Blickverhalten in statischen Umgebungen hauptsächlich durch das Wechselspiel zwischen Sakkaden und Fixationen gekennzeichnet. Die Erweiterung auf dynamisches Reizmaterial oder dynamische Umgebungen führt zu einer Zunahme an möglichen messbaren Blickbewegungsmustern (z.B. Folgebewegungen). Auch auf der Mikroebene sind für die oben angeführten Parameter weitere Unterscheidungen klassifizierbar (z.B. Drift, Mikrosakkaden, Tremor). Da bei den Untersuchungen der vorliegenden Arbeit ausschließlich mit statischem Bildmaterial gearbeitet wurde, soll an dieser Stelle auf eine ausführliche Darstellung aller Typen von Blickbewegungen verzichtet werden (für eine Übersicht vgl. R. H. S. Carpenter, 1988; Joos, Rötting, & Velichkovsky, 2002).

### 2.1.1 Fixationen und Sakkaden

Bereits anhand der Art und Verteilung photosensitiver Neurone auf der Retina ergeben sich Rückschlüsse auf die funktionale Organisation der visuellen Wahrnehmung. Dabei lassen sich die Rezeptoren prinzipiell in helligkeitssensitive Stäbchen und farbempfindliche Zapfen unterteilen. Während sich die Stäbchen eher in der Peripherie der Retina befinden, konzentrieren sich die Zapfen in der Mitte der Retina, dem Bereich der Fovea centralis. Aufgrund dieser Anordnung und der entsprechenden Abbildung der fovealen Rezeptoren im visuellen Kortex wird die höchste Auflösung innerhalb einer Fixation im Bereich der Fovea erzielt. Der Fovea entsprechen ungefähr 2° des Zentrums der Retina (bei halbausgestrecktem Arm entspricht das ungefähr der Größe des Daumennagels), die angrenzenden 3° werden als Parafovea bezeichnet und Gebiete außerhalb dieses Bereiches als Peripherie (Balota & Rayner, 1991). Die Definition dieser Bereiche ist eher funktionaler Art, da die visuelle Auflösung mit steigender Exzentrizität stetig abnimmt.

Während einer Fixation befindet sich das Auge bezüglich des Blickortes (obwohl nicht vollständig, vgl. hierzu Joos et al., 2002) in relativem Stillstand, wobei die Fovea auf das betrachtete Objekt ausgerichtet ist. Um jedoch auch außerhalb dieses relativ kleinen Bereiches exakt wahrnehmen zu können, erfolgt eine Neuorientierung der Fixation durchschnittlich dreimal pro Sekunde durch sakkadische Augenbewegungen. Sakkaden sind sehr schnelle, ballistische Bewegungen, bei denen das Auge Geschwindigkeiten von bis zu 900°/s erreicht. Die Dauer von sakkadischen Augenbewegungen erstreckt sich von 10-80 ms, dabei werden Amp-

lituden in einem Bereich von 2-50° erreicht (Unema, 1995). Da während eines solchen Blicksprungs eine Verschiebung des kompletten Abbilds auf der Netzhaut stattfindet, werden keine visuellen Informationen verarbeitet (Hoffman, 1996). Diese Unterdrückung der Aufnahme bzw. Verarbeitung visueller Informationen beginnt bereits ca. 75 ms vor dem Beginn einer Sakkade, und überdauert das Ende einer Sakkade noch um ca. 50 ms (Diamond, Ross, & Morrone, 2000). In der alltäglichen Erfahrung wird diese Einschränkung nicht bewusst wahrgenommen, bei abwechselnder Betrachtung des eigenen linken und rechten Auges in einem Spiegel, kann man selbst keine Bewegung der Augen beobachten (Dodge, 1900).

Im Zusammenhang mit Fixationen und Sakkaden lassen sich verschiedene Parameter bestimmen, die neben Rückschlüssen auf unterschiedliche Wahrnehmungs- und Verarbeitungsprozesse auch eine Einschätzung des jeweiligen Stimulusmaterials erlauben. Dazu gehören neben den bereits angeführten Sakkadendauern und –amplituden vor allem auch sakkadische Reaktionszeiten (Sakkadenlatenzen), die jeweiligen Blickorte sowie Fixationsdauern und deren Verteilungen. Zusätzlich lassen sich noch eine Reihe weiterer Parameter bestimmen, deren Erfassung auch immer wesentlich von dem jeweils verwendeten Registrierungssystem abhängig ist. Eine aktuelle Übersicht über Blickbewegungsparameter und Methoden der Registrierung wurde kürzlich von Joos et al. (2002) zusammengestellt. Da im Kontext der vorliegenden Arbeit vor allem die Fixationsdauer und die Sakkadenlatenz von entscheidender Bedeutung sind, soll im Folgenden näher auf diese beiden Parameter eingegangen werden.

### 2.1.2 Dauer und Verteilungsform von Fixationen

Die Fixationsdauer ist einer der am häufigsten benutzten Parameter bei der Messung von Augenbewegungen. Fixationen haben eine Dauer von 100-2000 ms mit einer Konzentration im Bereich von 200-600 ms (Karsh & Breitenbach, 1983; Young & Sheena, 1975). Übliche durchschnittliche Fixationsdauern betragen etwa 225 ms beim Lesen, bei visuellen Suchaufgaben rund 275 ms und bei der Bildwahrnehmung rund 330 ms (Rayner, 1978; 1998). Diese Ergebnisse sind jedoch keineswegs stabil: In vielen Fällen scheint ein Zusammenhang zwischen Fixationsdauer und Aufgabenparameter zu bestehen. Fixationsdauern werden deshalb oftmals als Maß für die Dauer der Bearbeitung der betrachteten Information interpretiert. Da während der Sakkaden das Sehvermögen weitgehend reduziert ist, besteht in vielen Untersuchungen die Annahme, dass die aktuell fixierte Information auch verarbeitet wird. Unter dieser Voraussetzung ist die Fixationsdauer identisch mit der Dauer der jeweiligen Informationsverarbeitung (vgl. auch Inhoff & Radach, 1998). Auch Oster und Stern (1980) gehen nach dem Vergleich der Fixationsdauern bei verschiedenen Aufgabentypen davon aus, dass die Zeit zwischen zwei Sakkaden eher eine Funktion der Aufgabenanforderungen als ein Merkmal des Sakkadensystems ist.

Zu beachten gilt hierbei, dass die Fixationsdauer nicht unbedingt immer auch so bezeichnet wird. So sprechen beispielsweise Oster und Stern (1980) von sakkadischer Reaktionszeit (*saccadic reaction time*) und dem intersakkadischen Intervall (*intersaccadic interval*). Dies erscheint insofern auch sinnvoll, da die Fixationsdauer bei einer Registrierung mittels Elektrookulographie (EOG) als die Zeit definiert wird, die zwischen dem Ende einer und dem Start der folgenden Sakkade liegt.

Rayner (1978) stellt zwei Modelle der Steuerung von Fixationsdauern vor. Nach dem Modell des kognitiven Rückstandes sind die Fixationen so kurz, dass die kognitiven Prozesse notwendigerweise mit einem zeitlichen Abstand zur Informationsaufnahme ablaufen können. Die meisten Ergebnisse aus der Literatur sprechen jedoch dagegen Carpenter und Just (1978). Nach dem Modell der Prozessüberwachung wird die Fixationsdauer von den kognitiven Prozessen beeinflusst, die zur Verarbeitung der während der Fixation aufgenommenen Informationen herangezogen werden. Die Verarbeitungsschwierigkeit würde sich demnach in der Fixationsdauer niederschlagen. Viele Ergebnisse scheinen dieses Modell tatsächlich zu unterstützen (Balota, Pollatsek, & Rayner, 1985). Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass beide Modelle sich im Grunde nur auf Fixationsdauern bei Leseaufgaben beziehen, d.h. Kontextinformationen, also zum Teil bereits verarbeitete Informationen spielen eine entscheidende Rolle in der Bestimmung bzw. Steuerung der Fixationsdauer. Insofern lassen sich gefundene Ergebnisse zu Fixationsdauern aus Leseaufgaben nur schwer auf andere Bereiche übertragen. In den Veröffentlichungen von Henderson und Hollingworth (1998) bzw. Findlay und Walker (1999) wurden generellere Theorien der Steuerung von sakkadischen Blickbewegungen entwickelt und dargelegt.

Während das Modell des kognitiven Rückstandes implizit von einer zufälligen Verteilung der Fixationsdauern ausgeht (Random-Kontrollhypothese, vgl. Kolers, 1976), ist die Grundhypothese des Modells der Prozessüberwachung die kognitive Steuerung der Fixationsdauer. Das Randommodell kann systematische Unterschiede in der Fixationsdauer nicht erklären. Mit dem Modell der kognitiven Kontrolle lässt sich dagegen schwer erklären, dass Fixationsdauern - verglichen mit der zu vermutenden großen Variabilität in der kognitiven Prozessdauer - relativ konstant sind.

Die Fixationsdauer kann auch als ein Maß der Beanspruchung gelten. Allerdings ist zu beachten, dass die Interpretation der Fixationsdauer als Beanspruchungsmaß vom Aufgabentyp abhängig ist. Verlangt die Aufgabe überwiegend zentral kontrollierte Verarbeitung, so ist eine Verlängerung der Fixationsdauer ein Hinweis auf größere Beanspruchung. So fand Rayner (1978; 1982) eine Verlängerung der Fixationsdauern bei zunehmender Schwierigkeit von Satzkonstruktionen. Stager und Angus (1978) konnten zeigen, dass die Fixationsdauer bei Erfahrung mit einer Aufgabe sinkt. Bei Aufgaben, bei denen schnelles Reagieren gefordert ist (z. B. Führen von Fahrzeugen), kommt es bei größerer Beanspruchung über einen An-

stieg des Aktivierungs-Niveaus zu kürzeren Fixationsdauern. Verwiesen sei auch auf Gerathewohl et al. (1978), die zeigten, dass sich die Fixationsdauer bei höherer Schwierigkeit von Flugführungsaufgaben verkürzt. Miura (1986) sowie Unema und Rötting (1990) fanden gleichartige Ergebnisse beim Autofahren. Im Zusammenhang mit dem hierarchischen Konzept der Informationsverarbeitung von Craik und Lockhart (1972), den sogenannten *levels of processing*, wurde von Velichkovsky, Sprenger und Pomplun (1997) nachgewiesen, dass sich auch die jeweilige Tiefe der Verarbeitung in der Fixationsdauer widerspiegelt (vgl. hierzu auch Velichkovsky, 2001).

Verschiedene Autoren haben die Größe des Bereichs untersucht, innerhalb dessen während einer Fixation Informationen aufgenommen und verarbeitet werden können (Mackworth, 1965; Nelson & Loftus, 1980; Rayner & Pollatsek, 1989; Saida & Ikeda, 1979). Die Abschätzung des Bereiches, in dem während einer bestimmten Aufgabe und unter spezifischen Reizbedingungen Informationen aufgenommen werden können, unterstützt die Zuverlässigkeit der aus der Analyse von Fixationsdauern abgeleiteten Ergebnisse. Allerdings scheint sich die Größe des Bereiches unter dem Einfluss der Aufgabenanforderungen zu verändern und ist damit selbst ein potentieller Parameter. Bei vielen Aufgaben, etwa beim Autofahren, spielt allerdings nicht allein die foveale Wahrnehmung eine entscheidende Rolle, sondern auch die periphere Wahrnehmung. Über den Bereich des scharfen Sehens hinaus können besonders neu auftauchende und sich bewegende sowie durch ihren Kontrast zum Hintergrund auffällige Stimuli erkannt werden.

Die Literatur zeigt in Bezug auf den Parameter Fixationsdauer ein relativ einheitliches Bild: Die mittlere Fixationsdauer wird in der überwiegenden Mehrzahl der Veröffentlichungen als Korrelat für die Dauer verschiedener kognitiver Prozesse herangezogen. Dabei werden in der Regel Mittelwerte, kaum aber Momente höherer Ordnung herangezogen (vgl. Velichkovsky, 1999). Die Verteilung der Fixationsdauern kann, auch bei identischem Mittelwert, recht unterschiedlich sein. Nur selten wird darauf hingewiesen, dass die Verteilung der Fixationsdauer in der Regel keineswegs einer normalen, sondern einer linkssteilen (log-normalen) Verteilung entspricht (Unema, Dornhoefer, Steudel, & Velichkovsky, 2001). Insofern erscheint bei der Analyse der Fixationsdauer der Mittelwert ein eher unzureichendes bzw. ungeeignetes Mittel zur Beschreibung der Verteilung zu sein. Bei der Auswertung der Daten bieten sich aufgrund der Nichtnormalverteilung entweder der Median oder der Modalwert als geeignetere Lokalisationsparameter an.

### 2.1.3 Sakkadenlatenz

Die Sakkadenlatenz oder auch sakkadische Reaktionszeit ist die Zeit zwischen dem Erscheinen eines Zieles und dem Start der Sakkade zum intendierten Ziel. Es handelt sich also um eine Art visueller Reaktionszeit. Sowohl das Erscheinen des Stimulus als auch der Zeitpunkt, an dem das Ziel erreicht wird, muss mit sehr

hoher zeitlicher Genauigkeit erhoben werden. Daher wird dieses Maß fast ausschließlich bei Laboruntersuchungen verwendet.

Sakkadenlatenzen sind normalerweise unimodal verteilt und durch einen Mittelwert von ca. 200 ms gekennzeichnet. Eine Verringerung dieser Latenz kann erzielt werden, wenn der aktuelle Fixationsreiz bereits vor dem Erscheinen des Zielreizes entfernt wird. Dieses Phänomen ist in der Literatur vielfach als *gap effect* beschrieben (Kingstone & Klein, 1993; Reuter-Lorenz, Hughes, & Fendrich, 1991; Saslow, 1967). Fischer und Mitarbeiter (Fischer & Boch, 1983; Fischer & Ramsberger, 1984) fanden bei einigen Probanden eine bimodale, bzw. sogar eine trimodale Verteilung der Sakkadenlatenzen bei Untersuchungen zum *gap effect*. Bei der schnellsten Komponente der Verteilung, dem dritten Gipfel, handelt es sich um sogenannte Express-Sakkaden, mit einer mittleren Sakkadenlatenz von 125 ms, bei denen alle Prozesse, außer der Bestimmung der Zielkoordinaten, abgeschlossen sind (Fischer & Weber, 1993). Die Sakkadenlatenz spiegelt den Einfluss des Aktivierungs-Mechanismus auf die Blickbewegungssteuerung wieder und ist gegenüber Parametern, die auf der Messung der Fixationsdauer basieren, in ihrer psychologischen Aussagekraft deutlich unterlegen.

## 2.2 Physiologische Grundlagen visueller Informationsverarbeitung und der Blicksteuerung

Über die Prozesse, die bei der Steuerung von Blickbewegungen ablaufen, gibt es mittlerweile eine beträchtliche Daten- und vor allem auch Wissensbasis. An der Generierung sakkadischer Augenbewegungen ist ein Netzwerk kortikaler und subkortikaler Strukturen beteiligt.

Nach Deubel (1994) werden visuelle Informationen über mindestens vier verschiedene Pfade zu den okulomotorischen Zentren im Hirnstamm geleitet. Sie können entweder (1) direkt von der Retina über den Colliculus superior (*superior colliculus*, SC) zum Hirnstamm gelangen, oder (2) über das Corpus geniculatum laterale (LGN), den primären visuellen Kortex und den SC, des weiteren (3) über das LGN, den visuellen Kortex und das frontale Augenfeld (*frontal eye field*, FEF) und schließlich (4) über den primären und extrastriären visuellen Kortex, den parietalen Kortex und das FEF (vgl. Abb. 2-1).

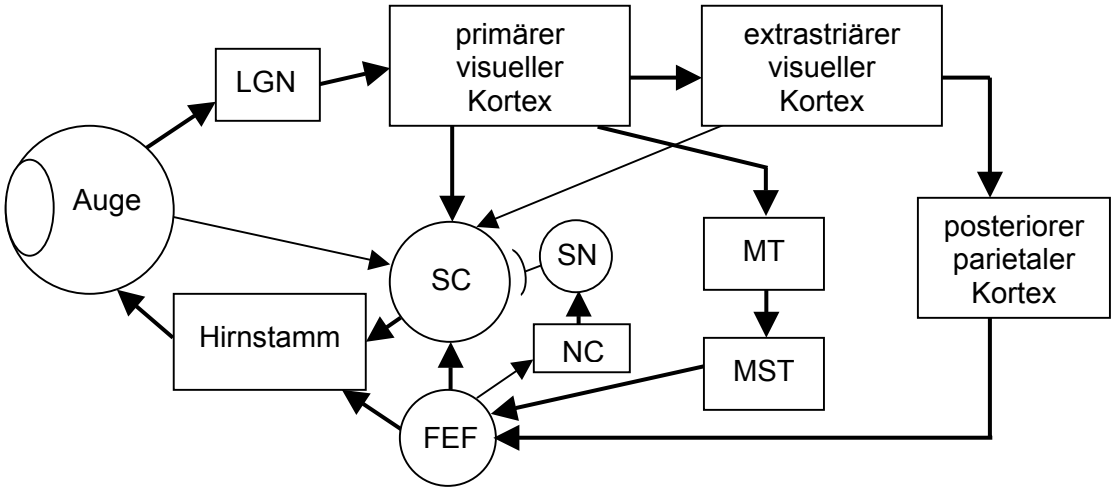


Abb. 2-1: Schematische Darstellung der an der Generierung sakkadischer Augenbewegungen beteiligten zentralnervösen Strukturen (Darstellung nach Deubel, 1994 [MT = mittleres temporales Areal, MST = mittleres oberes temporales Areal, SN = Substantia nigra pars reticulata, NC = Nucleus caudatus]).

Die kortikale Kontrolle von Sakkaden erfolgt über das FEF und die supplementären Augenfelder (SEF) im Frontallappen, sowie über die lateralen intraparietalen Areale (*lateral intraparietal area*, LIP). Alle diese kortikalen Regionen sind entweder direkt oder indirekt verbunden und koordinieren sowohl Sakkaden als auch die Ausrichtung visueller Aufmerksamkeit. Das FEF und die SEF haben eine direkte Verbindung zum Hirnstamm, wo letztendlich die Generierung von Sakkaden stattfindet. Jede der kortikalen Regionen hat zum Superior Colliculus eine direkte Verbindung, und eine indirekte Verbindung über die Basalganglien (über den Nucleus caudatus [NC] bzw. über die Substantia nigra pars reticulata [SN]). Bei dem SC handelt es sich um die wichtigste subkortikale Schaltstelle bei der Erzeugung von Sakkaden. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll auf eine detaillierte Darstellung des komplexen Zusammenwirkens der einzelnen Strukturen verzichtet werden (für eine Übersicht vgl. Goldberg, Eggers, & Gouras, 1991).

Da im Kontext der in dieser Arbeit dargestellten Untersuchungen vor allem der SC und das FEF von Interesse sind, sollen im Folgenden der Aufbau und die Funktionsweise dieser Strukturen etwas detaillierter dargestellt werden.

### 2.2.1 Frontales Augenfeld

Bei dem FEF handelt es sich um ein Areal im präfrontalen Kortex, welches entscheidend an der Transformation visueller Informationen in die entsprechenden sakkadischen Augenbewegungen beteiligt ist (für einen Überblick vgl. Schall, 1997).

Das FEF beinhaltet sowohl eine motorische, als auch eine sensorische Komponente. Hinsichtlich der motorischen Komponente konnten z.B. Bruce, Goldberg, Bushnell und Stanton (1985) nachweisen, das die Mikrostimulation des FEF zur Auslösung von Sakkaden führt. Dieser direkte Einfluss auf die Sakkadengenerierung lässt sich auf eine Gruppe von Neuronen zurückführen, die insbesondere vor und während einer Sakkade aktiv sind (Bruce & Goldberg, 1985; Hanes, Patterson II, & Schall, 1998; Hanes & Schall, 1996). Diese innervieren den SC (Segraves & Goldberg, 1987) und Teile des neuralen Schaltkreises im Hirnstamm, wo letztlich die Generierung von Sakkaden erfolgt (Segraves, 1992). Diese Neurone sind somit für die motorische Planung von Blickbewegungen verantwortlich. Anhand von Studien, bei denen das FEF vorübergehend inaktiviert wurde, konnten direkte Beeinträchtigungen bei der Ausführung von Sakkaden nachgewiesen werden (Dias & Segraves, 1999; Sommer & Tehovnik, 1997). Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit früheren Untersuchungen, bei denen die operative Entfernung des FEF anfangs zu starken Beeinträchtigungen bei der Erzeugung von Sakkaden führte, und erst nach einiger Zeit eine gewisse Wiederherstellung des normalen Verhaltens gefunden werden konnte (Schiller & Chou, 1998; Schiller, Sandell, & Maunsell, 1987).

Auch für die sensorische Komponente liegen verschiedene experimentelle Nachweise vor. Das FEF ist mit dem ventralen und dem dorsalen Pfad der extrastriären visuellen Areale verbunden (Baizer, Ungerleider, & Desimone, 1991). Diese Projektionen zwischen dem FEF und dem exstrastriären visuellen Kortex scheinen topographisch organisiert zu sein (Schall, Morel, King, & Bullier, 1995; Stanton, Bruce, & Goldberg, 1993). Präsentationen des zentralen Feldes retinotopisch organisierter Areale projizieren in ventrolaterale Regionen des FEF (K. G. Thompson, Bichot, & Schall, 2000). Dieser Teil des FEF ist verantwortlich für die Generierung von Sakkaden mit kurzen Amplituden (Bruce et al., 1985). Präsentationen des peripheren Feldes der retinotopisch organisierten Areale projizieren hingegen in dorsomediale Regionen des FEF – diese Regionen sind für die Generierung von Sakkaden mit größeren Amplituden zuständig (K. G. Thompson et al., 2000). Zusätzliche Konvergenzen über das Ausmaß der Afferenzen von verschiedenen Arealen des extrastriären Kortex zum FEF lassen sich in einzelnen Neuronen des FEF finden, die offensichtlich Form, Farbe und Bewegung von Objekten repräsentieren (K. G. Thompson et al., 2000). So zeigten beispielsweise physiologische Messungen im FEF von Affen, die in einer visuellen Folgeaufgabe trainiert wurden, dass einzelne Neurone auf visuelle Reize reagieren (z.B. Bruce & Goldberg, 1985; Schall, 1991). Goldberg und Bushnell (1981) fanden eine verstärkte Aktivität der visuellen Zellen, wenn es sich bei dem visuellen Stimulus um das Sakkadenziel handelt. Darüber hinaus ließen sich weitere Verbindungen des FEF zu kortikalen und subkortikalen okulomotorischen Regionen nachweisen (Andersen, Asanuma, & Cowan, 1985; Barbas & Mesulam, 1981; Huerta, Krubitzer, & Kaas, 1986, 1987; Schall, Morel, & Kaas, 1993; Schall et al., 1995; Stanton et al., 1993; Stanton, Goldberg, & Bruce, 1988a, 1988b). In Studien mit

bildgebenden Verfahren zeigte sich eine deutliche Aktivierung des FEF bei okulomotorischen Aufgaben (Darby et al., 1996; Luna et al., 1998; O'Driscoll et al., 1995; Paus, 1996; Petit et al., 1996).

In einer kürzlich veröffentlichten Untersuchung analysierten Sommer und Wurtz (2000) detailliert sowohl die zeitliche als auch räumliche Beziehung des Signalaustausches zwischen FEF und SC. Die Autoren stellten dabei eine stärkere Verbindung als bisher angenommen fest: Für Aktivierungen im Zusammenhang mit Fixationen, visueller Stimulation, kognitiven Operationen und bei Initiierung und Beendigung von Sakkaden war eine Weiterleitung an den SC nachweisbar.

### 2.2.2 Der Superior Colliculus

Der SC befindet sich im Mittelhirn und ist einerseits beteiligt an der Integration von Informationen aus verschiedenen Sinnesorganen (visuell, auditiv, somatosensorisch) und andererseits bei der Generierung entsprechender motorischer Signale auf diese Reize.

Zunächst soll auf die Verarbeitung visueller Informationen und die Beteiligung an der Auslösung sakkadischer Augenbewegungen eingegangen werden. Aus struktureller Perspektive lässt sich der SC in eine rechte und eine linke Hälfte unterteilen. Sowohl die Informationsverarbeitung als auch die Generierung der entsprechenden motorischen Signale erfolgt jeweils für das kontralaterale (gegenüberliegende) Gesichtsfeld. Der SC besteht aus mehreren vertikalen Schichten (*layers*) grauer und weißer Substanz. Analog zu den Funktionen wird eine Einteilung in obere (*superficial*), mittlere (*intermediate*) und tiefe (*deep*) Schichten vorgenommen. Der obere SC besteht vorwiegend aus visuell reaktiven Zellen, in den mittleren Schichten befinden sich *build-up* und *burst* Neurone, die vor und während einer Sakkade feuern (Munoz & Wurtz, 1995a). Die tiefen Schichten scheinen an multimodalem Orientierungsverhalten und kombinierten Auge-Kopf Blickbewegungen beteiligt zu sein (Sparks & Hartwich-Young, 1989).

Sowohl ankommende visuelle Informationen im oberen SC als auch motorische Reaktionen der mittleren Schichten sind retinotop organisiert (Robinson, 1972). Das foveale Gebiet des visuellen Feldes wird im rostrolateralen Pol des SC abgebildet, eine Stimulation der mittleren Schichten dieses Gebietes führt zu kleinen Sakkaden (Robinson, 1972) oder verhindert die Generierung von Sakkaden (Munoz & Wurtz, 1993a). Das periphere visuelle Feld ist im kaudalen SC repräsentiert, eine Stimulation dieser Region führt zu größeren Sakkaden. Die Zellen der oberen Schicht des SC sind also, analog zum visuellen Kortex, in verschiedenen rezeptiven Feldern organisiert, d.h. bestimmten Regionen der Retina sind entsprechende rezeptive Felder zugeordnet. Zusätzlich scheint der SC in vertikaler Richtung säulenförmig organisiert zu sein: Wenn Zellen der oberen Schichten auf entsprechende Orte des visuellen Feldes reagieren, findet parallel

dazu auch eine Programmierung von Sakkaden in den darunter liegenden Schichten des mittleren SC statt (z.B. Goldberg & Wurtz, 1972).

In den mittleren Schichten des SC befinden sich verschiedene prämotorische Zellen, die vor oder während einer Sakkade feuern. Eine Klassifizierung dieser Zellen anhand ihrer Aktivität und Position wurde von Munoz und Wurtz (1995a; 1995b) vorgenommen. Der obere Teil des mittleren SC enthält *burst* Neurone, die vor und während einer Sakkade feuern, sonst aber inaktiv sind. Im tiefen Teil des mittleren SC befinden sich *build-up* Neurone, die eine ansteigende Aktivität vor Beginn einer Sakkade zeigen und während einer Sakkade stark feuern. Im eher rostralen Teil der mittleren Schicht des SC befinden sich Fixationsneurone, die während einer Fixation aktiv sind, vor und während einer Sakkade hingegen keine Aktivität zeigen (Munoz & Wurtz, 1993a, 1993b). Diese Zellen beschränken sich auf das Gebiet der Fovea, welches ca. 0,72 mm des rostralen SC ausmacht (Munoz & Wurtz, 1995b).

Alle Klassen der Zellen des mittleren SC zeigen also entsprechende Aktivität, in Reaktion auf das jeweilige visuelle Ereignis. Diese neuronale Aktivität wird vermutlich durch die visuellen Zellen des oberen SC ausgelöst und durch die vertikalen Verbindungen in die mittleren Schichten weitergeleitet. Aktivitäten in den beiden Schichten werden durch absteigende Projektionen aus dem striären und extrastriären Kortex gesteuert (Lee, Helms, Augustine, & Hall, 1997). Der mittlere SC erhält weitere Informationen aus verschiedenen kortikalen Regionen, die in die Sakkadenprogrammierung und visuelle Aufmerksamkeit involviert sind: FEF (Segraves & Goldberg, 1987), SEF (Shook, Schlag-Rey, & Schlag, 1990) und LIP (Lynch, Graybiel, & Lobeck, 1985). Diese Projektionen dienen der Unterdrückung unerwünschter Sakkaden und steuern Sakkaden, indem das entsprechende Aktivierungsmuster in die mittleren Schichten des SC transportiert wird. Die Verbindungen des FEF realisieren dies durch Muster von Hemmung und Erregung im mittleren SC (Schlag-Rey, Schlag, & Dassonville, 1992). Bewegungsneurone im FEF haben erregende Verbindungen zu Neuronen des mittleren SC, wodurch Sakkaden erzeugt werden, die in Amplitude und Richtung denen ähneln, die im FEF erzeugt werden. Neurone im mittleren SC, welche Sakkaden erzeugen, die mit den in dem FEF erzeugten nicht übereinstimmen, werden gehemmt (Schlag-Rey et al., 1992).

Ein weiterer Pfad zum SC verläuft über die Basalganglien. Dabei projizieren das FEF und die SEF zu dem NC, welcher inhibitorisch auf die SN wirkt, diese wiederum hemmt den mittleren SC. Zellen der SN ändern ihre Aktivität offenbar sequentiell, um entsprechende Sakkaden zu ermöglichen. Der NC scheint nur während gut gelernter Aufgaben wie beispielsweise dem Lesen aktiv zu sein, dabei feuern die Neuronen um die SN zu hemmen und dadurch den SC zu enthemmen (vgl. Hikosaka & Wurtz, 1989).

Letztlich werden Sakkaden durch Verbindungen des mittleren SC zum Sakkadengenerator im Hirnstamm ausgelöst. Dabei ist ein Netzwerk hemmender und erregender Interneurone im SC aktiv, wodurch neuronale Aktivität vor und während Sakkaden entsteht. (vgl. Munoz & Istvan, 1998). Die Autoren fanden, dass eine Stimulation der Fixationsneurone in der Fixationsregion im rostralen Teil der mittleren Schicht des SC stark inhibierend auf die *burst* Neurone und in etwas geringerem Ausmaß inhibierend auf die *build-up* Neurone wirken. Im Gegensatz dazu wirkt eine Stimulation der *burst* und der *build-up* Neurone hemmend auf die Fixationsneurone. Diese gegenseitig hemmenden Verbindungen verhindern nicht nur eine gleichzeitige Aktivität der *burst* Neurone und der Fixationsneurone, sondern ermöglichen eine sehr schnelle Umschaltung im SC zwischen Sakkaden und Fixationen. Fixationsneurone des rechten und linken Teils des SC sind durch stark erregende Verbindungen miteinander verbunden, um zu gewährleisten, dass sich beide Teile im selben Zustand befinden. Die etwas geringere Inhibierung der *build-up* Neurone durch die Fixationsneurone ermöglicht eine vorbereitende Aktivität vor der Auslösung von Sakkaden (Munoz & Istvan, 1998).

Wie bereits oben erwähnt, findet im SC nicht nur die Verarbeitung visueller Informationen statt, sondern es werden multisensorische Informationen integriert. Verschiedene Kombinationen visueller, auditiver und somatosensorischer Informationen führen zu deutlichen Beeinflussungen der neuronalen Aktivität innerhalb des SC, wodurch letztlich auch die Ausrichtung der Aufmerksamkeit und des motorischen Verhaltens (z.B. Sakkaden) gesteuert wird (vgl. Frens, Van Opstal, & Van der Willigen, 1995; Hughes, Reuter-Lorenz, Nozawa, & Fendrich, 1994; Stein, Meredith, Huneycutt, & McDade, 1989). So wiesen Wallace und Stein (1996) nach, dass bei Katzen 49% und bei Affen 36% der Zellen der tiefen Schichten des SC auf auditive Reize reagieren, während lediglich 13% bzw. 18% ausschließlich auf auditive Signale (unimodale Zellen) reagieren und nur 23% bzw. 37% ausschließlich auf visuelle Stimuli reagieren. Außerdem konnte gezeigt werden, dass bei entsprechender Darbietung bimodaler Reize die Zellaktivitäten deutlich über der Summe von zwei unimodalen Reizen liegt. Frens und Van Opstal (1998) demonstrierten deutliche Interaktionseffekte zwischen auditiven und visuellen Reizen anhand der gemessenen Sakkadenlatenz. Dabei gilt auch für die Zellen, die auf auditive Signale reagieren eine Anordnung in rezeptiven Feldern, analog zu den Zellen für visuelle Reize (Wallace, Meredith, & Stein, 1998). Für diese rezeptiven Felder treten hinsichtlich der Modalitäten Überlappungen auf. Dort befinden sich eher bimodale Zellen (Kadunce, Vaughan, Wallace, & Stein, 2001). Bei entsprechender räumlicher Übereinstimmung der multimodalen Reize lassen sich stärkere Aktivitäten für diese bimodalen Zellen nachweisen, was letztlich zu schnelleren motorischen Reaktionen auf solche Reizkonfigurationen führt (Frens & Van Opstal, 1998; Kadunce et al., 2001; Wallace et al., 1998).

### 2.2.3 Ein Modell zur Generierung sakkadischer Augenbewegungen

Findlay und Walker (1999) haben ein umfassendes Modell zur Generierung von Sakkaden vorgeschlagen, welches auf konkurrierender Inhibierung zweier hierarchisch aufgebauter Systeme beruht. Das Modell basiert auf neurophysiologischen Erkenntnissen und besteht aus zwei parallel arbeitenden Systemen, einem „Wo"-System, welches räumliche Bahnen abbildet und einem „Wann"-System, in dem zeitliche Parameter verarbeitet werden. Beide Systeme bestehen aus fünf hierarchischen Ebenen, wobei eine Interaktion lediglich auf den drei unteren Ebenen stattfinden kann.

Auf der untersten Ebene befindet sich die unmittelbar prämotorische Stufe, die nur für die Erzeugung der entsprechenden Impulsfolge für die Augenmuskeln zuständig ist. Diese Ebene kann ausschließlich von der zweiten, nicht jedoch von höheren Ebenen aus angesprochen werden.

Die zweite Ebene ist für die Balance zwischen „Fixieren" und „Bewegen", sowie für die Auflösung von potentiellen Konflikten zwischen verschiedenen, miteinander konkurrierenden Sakkaden zuständig. Sakkaden werden generiert, wenn die Aktivität im „Fixieren"-Zentrum unter einen Schwellwert fällt, wodurch auf der untersten Ebene eine „Schleuse" (*gate*) geöffnet wird. Eine Zunahme der Aktivität im „Bewegen"-Zentrum fördert das Loslösen (*disengagement*) durch reziproke Inhibition des „Fixieren"-Zentrums.

Die Prozesse auf der zweiten Ebene können direkt und automatisch durch Veränderungen visueller Reize, vermittelt über die dritte Ebene, beeinflusst werden. Wesentlich in diesem Zusammenhang ist, dass diese Modulation nicht der kognitiven Kontrolle unterliegt. Als Veränderung visueller Reize gilt dabei sowohl deren Erscheinen als auch Verschwinden. Dabei wird angenommen, dass das zentrale Auftauchen visueller Reize zu einem Anstieg der Aktivität im „Fixieren"-Zentrum führt, das Verschwinden hingegen erhöht die Aktivität im „Bewegen"-Zentrum und fördert somit das Loslösen. Für peripher auftauchende, visuelle Ereignisse wird paradoxerweise eine Aktivierung in beiden Zentren postuliert. Für das „Bewegen"-Zentrum beinhaltet dieser Aktivierungsanstieg die Auswahl des nächsten Sakkadenziels. Die parallele Steigerung der Aktivität im „Fixieren"-Zentrum gilt sowohl für periphere als auch zentrale visuelle Veränderungen und steht in engem Zusammenhang mit den Befunden der Untersuchungen von Walker et al. (1997), die unter 2.5 näher diskutiert werden sollen.

Die vierte Ebene entspricht automatisiert ablaufenden Prozessen, die das Fixieren und Bewegen der Augen ermöglichen, wobei das Wort „automatisiert" in diesem Kontext impliziert, dass vor allem Lerneffekte und Informationen aus dem Gedächtnis auf dieser Ebene Einfluss nehmen. Im „Normalfall" werden die Augen von der vierten Ebene aus gesteuert. Die fünfte Ebene entspricht der willentlichen

Kontrolle über das Fixieren und Bewegen, wobei Prozesse der fünften Ebene die Prozesse auf der vierten Ebene unterdrücken können.

## 2.3 Die Methode blickkontingenter Untersuchungen

George McConkie und Keith Rayner erweiterten die Methode einfacher Blickbewegungsregistrierung durch ein Verfahren, bei dem sich blickkontingent der sichtbare Bildinhalt manipulieren lässt (McConkie & Rayner, 1975). Die Idee für diese Methode basiert auf der Annahme, dass sich eine Veränderung der Informationen, die auf bestimmte Regionen der Retina projiziert werden (z.B. beim Lesen), negativ auf Wahrnehmungs- und Verarbeitungsprozesse auswirkt. Anders formuliert: Lässt sich also aufgrund der Veränderung keine Beeinträchtigung feststellen (gemessen anhand der Lesegeschwindigkeit oder des okulomotorischen Verhaltens), kann davon ausgegangen werden, dass die veränderte Information auch nicht verarbeitet wurde. Die Realisierung blickkontingenter Untersuchungen erforderte und erfordert dabei einen beträchtlichen technischen Aufwand. Zum einen benötigt das System zur Registrierung von Blickbewegungen eine sehr hohe zeitliche Aufzeichnungsrate (in Abhängigkeit von der Fragestellung auch eine möglichst große räumliche Genauigkeit), um Manipulationen in Abhängigkeit vom jeweiligen Blickstatus zu erlauben. Zum anderen erweist sich auch die Programmierung solcher Untersuchungen als sehr schwierig; dabei gilt, je natürlicher die Versuchsumgebung bzw. das Reizmaterial gestaltet ist, um so komplexer und aufwendiger wird die Umsetzung. Trotz beträchtlicher Entwicklungen in der Computertechnik werden die Grenzen für die Realisierung bestimmter Fragestellungen – hauptsächlich aufgrund zeitlicher Beschränkungen – schnell erreicht.

McConkie und Rayner (1975) nutzten diese Methodik erstmals für eine Leseuntersuchung, bei der Probanden unleserlicher Text dargeboten wurde, der lediglich innerhalb eines bestimmten Ausschnitts um den Fixationsort (*moving window technique*) als normal lesbarer Text erschien. Durch die Variation der Größe des Ausschnittes sollte das Ausmaß des nutzbaren Sehfeldes beim Lesen ermittelt werden. Aufbauend auf diesem Ansatz entstanden eine Reihe weiterer Möglichkeiten: Innerhalb des fovealen Sichtbereiches wird der Bildinhalt verändert, während die Umgebung davon unbeeinflusst bleibt (*foveal mask technique*) oder die Veränderung findet statt, wenn eine Sakkade von einem vorher festgelegten Wort auf das nachfolgende ausgeführt wird (*boundary technique*).

Zusammenfassend soll an dieser Stelle festgehalten werden, dass die Möglichkeit, Bildinhalte in Abhängigkeit des jeweiligen Blickstatus experimentell zu variieren, die Voraussetzung für die vorliegende Arbeit lieferte.

## 2.4 Die Fixationsdauer im Kontext der Wahrnehmung von Szenen und der Leseforschung

Im Folgenden soll ein kurzer Überblick über wesentliche Untersuchungen zur Wahrnehmung von Szenen und dem Bereich der Leseforschung gegeben werden. Da innerhalb dieser Forschungsgebiete mittlerweile eine beträchtliche Anzahl von Untersuchungen vorliegen, sollen lediglich Studien und Ergebnisse vorgestellt werden, bei denen die Fixationsdauer als abhängige Variable gemessen wurde. Diese Beschränkung wird damit begründet, dass im Rahmen der vorliegenden Arbeit der Parameter Fixationsdauer bezüglich verschiedener experimenteller Manipulationen analysiert werden soll. Die nachfolgende Darstellung gilt somit als illustrativ und ist keinesfalls vollständig. Für einen umfassenden Überblick über den Forschungsstand sei an dieser Stelle auf Underwood (1998) verwiesen.

### 2.4.1 Untersuchungen zur Wahrnehmung von Szenen

Die objektive Erfassung von Blickbewegungen begann bereits vor ca. 100 Jahren und ist seitdem stets eng an die Entwicklung der jeweiligen Untersuchungsmethode gebunden (vgl. 2.3). Als klassische Untersuchungen auf dem Gebiet der Blickbewegungsforschung, gelten die Studien von Guy Buswell (1935) und Alfred Yarbus (1967). Beide interessierten sich vor allem für das individuelle Blickmuster bei der Betrachtung von Bildern. Buswell nutzte für seine Untersuchungen verschiedenstes Bildmaterial, wie z.B. den Farbholzschnitt „Die Welle“ von Katsushika Hokusai (vgl. Abb. 2-2, Buswell, 1935).

Buswell fand bei seinen Analysen einerseits ein großes Spektrum individueller Unterschiede, konnte aber auch demonstrieren, dass sich Fixationen im allgemeinen auf bestimmte Bereiche des Bildes konzentrieren. Befanden sich beispielsweise auf dem betrachteten Bildmaterial Menschen, so wurden diese überproportional häufig, im Vergleich zum Rest des Bildes fixiert. Buswell analysierte detailliert die Dauer von Fixationen während der Bildbetrachtung und fand einen Anstieg der Fixationszeiten bei längerer Bildbetrachtung. Seiner Meinung nach wird innerhalb einer Anfangsphase das Bild eher insgesamt und großflächig betrachtet, in der anschließenden Phase erfolgt eine genauere Betrachtung einzelner Regionen des Bildes (Buswell, 1935).

Die Untersuchungen von Yarbus (1967) bestätigten größtenteils die Ergebnisse von Buswell. Yarbus vertrat ebenfalls die Auffassung, dass die erste Betrachtungsphase zum Aufbau eines allgemeinen Eindrucks dient und innerhalb der zweiten Phase eine genauere Exploration der bedeutendsten Bildelemente erfolgt. Vor allem konnte Yarbus nachweisen, dass unterschiedliche Instruktionen einen erheblichen Einfluss auf das Blickverhalten bei der Bildbetrachtung ausüben.

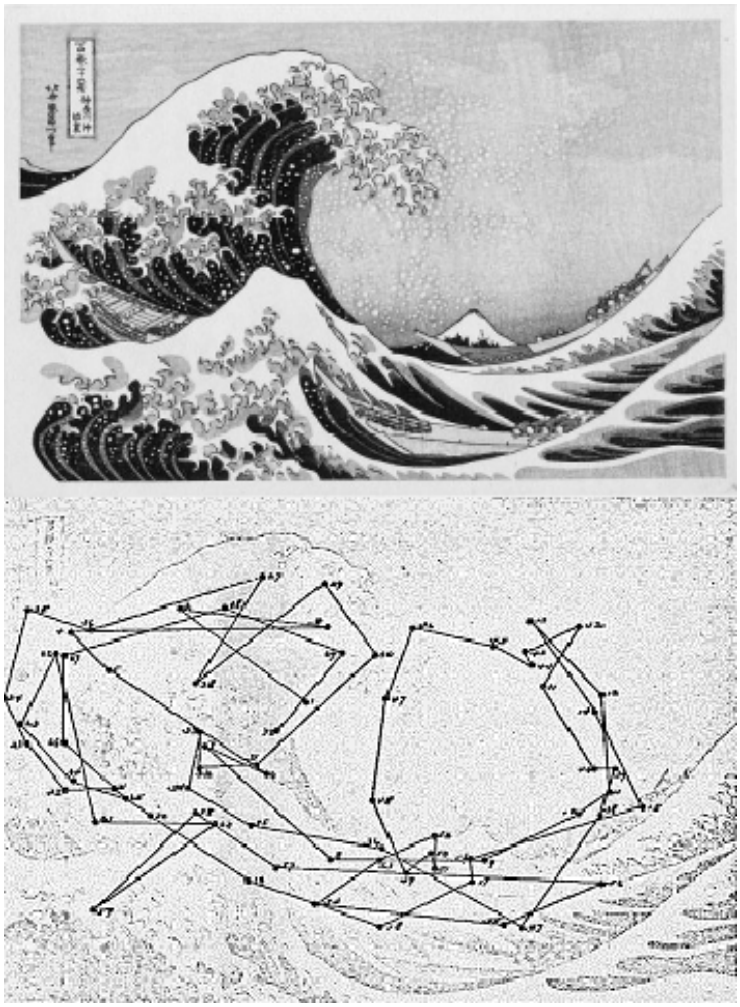

Abb. 2-2: „Die Welle“, Farbholzschnitt von Katsushika Hokusai (oben); Abtastmuster bei der Betrachtung des Bildes (unten, Buswell, 1935).

Gegenwärtig erscheinen bei der Betrachtung von Bildern oder Szenen vor allem Erklärungen plausibel, die im Zusammenhang mit der Unterscheidung zweier visueller Systeme stehen.

Diese Einteilung wurde zuerst ausführlich in einer Serie von Artikeln beschrieben, die zwischen 1967 und 1969 in der Zeitschrift *Psychologische Forschung* von Ingle (1967), Schneider (1967) und Trevarthen (1968) veröffentlicht wurden. Colwyn Trevarthen unterschied nach einem *ambienten* System, welches eher mit der Lokalisation von Objekten in der Umwelt in Zusammenhang gebracht wurde und einem *fokalen* System, welchem die Erkennung von Objekten zugeschrieben wurde. Das Modell wurde abgeleitet von den Ergebnissen der Studie von Schneider (1967), bei der das visuomotorische Verhalten von Goldhamstern untersucht wurde. Dabei zeigte sich, dass Strukturen des SC vor allem an Orientierungs- und Lokalisationsprozessen beteiligt sind (*ambient*), während kortikale Regionen bei der Unterscheidung und Erkennung von Formen eine Rolle spielen (*fokal*). Ungerleider und

Mishkin (1982) wiesen sowohl für Primaten als auch Menschen nach, dass beide Systeme in bestimmten kortikalen Regionen lokalisierbar sind und unterschieden nach einem „Wo"- und einem „Was"-System. Über den sogenannten dorsalen Pfad gelangen vor allem Bewegungsinformationen in den posterioren parietalen Kortex während über den ventralen Pfad Informationen über Farbe, Form und Gestalt in den inferioren temporalen Kortex übertragen werden (Ungerleider & Mishkin, 1982). Resultierend aus der unterschiedlichen Art an Informationen, die in den jeweiligen Arealen verarbeitet werden, wird über den dorsalen Pfad das „Wo"-System mit Informationen versorgt, während über den ventralen Pfad das „Was"-System angesprochen wird. Letztlich entspricht die Einteilung dieser Systeme der von Schneider (1969), wonach Lokalisation im „Wo"-System stattfindet, während die Identifikation von Objekten im „Was"-System erfolgt. Milner und Goodale (1995) haben das Modell von Ungerleider und Mishkin aufgrund verschiedener Verhaltensbeobachtungen dahingehend modifiziert, dass sie das dorsale System nicht als reines „Wo"-System betrachten, sondern vielmehr als eine Gruppe mehrer Systeme für die simultane visuelle Kontrolle von Bewegungen. Die Unterscheidung der beiden visuellen Systeme wird mittlerweile durch eine Vielzahl neuroantomischer, neurophysiologischer und neuropsychologischer Befunde unterstützt. Wie bereits unter 2.1.1 dargestellt, lassen sich die auf der Retina befindlichen photosensitiven Neurone in zwei verschiedene Klassen einteilen: Stäbchen und Zapfen. Die Übertragung der Informationen der beiden Rezeptorarten geschieht auf unterschiedlichen Sehbahnen. Während über magnozelluläre Sehbahnen vorwiegend Informationen der Stäbchen über den primären visuellen Kortex in den Parietallappen gelangen, erfolgt die Informationsweiterleitung aus den Zapfen in den Temporallappen größtenteils über parvozelluläre Sehbahnen.

In der Kognitionsforschung wurden für die beiden verschiedenen Systeme, neben den Bezeichnungen *ambient* und *fokal* von Trevarthen (1968) eine Reihe weiterer Begrifflichkeiten vorgeschlagen. So wird häufig beispielsweise auch die Unterscheidung präattentiv und attentiv benutzt (vgl. Hoffman, 1999; Neisser, 1967). Dabei wird von einem zweistufigen Prozess ausgegangen. Innerhalb der ersten – präattentiven – Stufe findet die Lokalisation statt, dabei handelt es sich um parallel ablaufende Prozesse, für die keine Kapazitätsbegrenzungen existieren. Innerhalb der zweiten – attentiven – Stufe werden einzelne Objekte identifiziert. Dieser Prozess läuft seriell ab, d.h. aufgrund der begrenzten Kapazität müssen die Objekte nacheinander verarbeitet werden (Hoffman, 1999).

Mit Hilfe sogenannter „Aufmerksamkeitslandschaften", die aus einer Kombination der jeweiligen Fixationsdauer und der Amplitude der nachfolgenden Sakkade gebildet werden, findet die oben diskutierte Sichtweise eine weitere Bestätigung (Velichkovsky, 2001; Velichkovsky, Pomplun, & Rieser, 1996). Dabei ließ sich nachweisen, dass Fixationen mit einer Dauer von 90-140 ms meist gefolgt sind von Sakkaden mit einer mittleren Amplitude, die dem doppelten Durchmesser der Fovea entspricht (>4°). Diese Sakkaden können also nicht durch fokale Objektrepräsentationen ausgelöst worden sein, sondern eher durch räumlich *ambiente*

Aspekte der Bildkomposition. Auf längere Fixationen hingegen folgten generell kürzere Sakkaden mit einem Modalwert von 1,5°, d.h. diese Fixationen verblieben in der Zone des schärfsten Sehens der vorausgegangenen Fixation und dienen folglich eher *fokalen* Verarbeitungsaspekten (Dornhoefer, Pannasch, Velichkovsky, & Unema, 2000). Eine Studie, bei der Probanden in einer virtuellen Fahrumgebung auf verschiedene Gefahrensituationen zu reagieren hatten, unterstützt diese Annahmen. Bei der post hoc Analyse der Blickparameter nach der oben dargestellten Einteilung zeigte sich, dass im *ambienten* Modus Gefahren deutlich schlechter oder gar nicht erkannt wurden (Velichkovsky, Dornhoefer, Pannasch, & Rothert, 2002; Velichkovsky, Rothert, Kopf, Dornhoefer, & Joos, 2002).

Die Gesamtdauer der Betrachtung einer bestimmten Region eines Bildes (die Summe aller Fixationsdauern innerhalb eines Bildbereiches) variiert für einzelne Bildregionen einer Szene (Buswell, 1935; Henderson & Hollingworth, 1999). Da häufiger die visuell und semantisch informativeren Bereiche einer Szene fixiert werden, und die Gesamtdauer mit der Dichte von Fixationen korreliert, erscheint diese Aussage plausibel. Bei genauerer Betrachtung stellt sich die Frage, inwieweit die Dauer einzelner Fixationen durch visuelle und semantische Charakteristika des jeweiligen Bildausschnittes beeinflusst werden. Die durchschnittliche Fixationsdauer bei der Betrachtung von Bildern beträgt ungefähr 330 ms, mit einer Streubreite im Bereich von weniger als 50 ms bis zu mehr als 1000 ms. Wie bereits oben dargestellt, ist die resultierende Verteilung linkssteil mit einem Modalwert bei ca. 230 ms (Henderson & Hollingworth, 1998). Insofern stellt sich die Frage, ob sich die breite Streuung der Fixationsdauern anhand unterschiedlicher Wahrnehmungs- und Verarbeitungsprozesse verschiedener Bildregionen erklären lässt.

Eine Reihe von Untersuchungen und Erklärungsansätzen zeigten, dass die visuell verfügbare Information während einer Fixation einen direkten Einfluss auf die jeweilige Dauer ausübt. Dies gilt nicht nur für die Betrachtung von Szenen sondern lässt sich auch anhand von Untersuchungen aus der Leseforschung bestätigen (vgl. 2.3.2). So verglichen Mannan, Ruddock und Wooding (1995) die Fixationsdauern von Probanden bei der Betrachtung von Fotografien, die Hochpass- bzw. Tiefpassfilter bearbeitet waren, mit den Fixationsdauern bei der Betrachtung ungefilterter Fotografien. Fixationsdauern bei gefilterten Szenen waren eindeutig länger als bei ungefilterten Szenen. Dieser Befund gibt Hinweise darauf, dass die Dauer einzelner Fixationen direkt durch die jeweils verfügbaren visuellen Informationen beeinflusst wird. Um herauszufinden, inwieweit Unterschiede der Qualität visueller Informationen direkt am Blickort bzw. in der Peripherie die Dauer von Fixationen beeinflussen, nutzten Van Diepen, de Graef und d'Ydewalle (1995) die *moving window technique* (vgl. 2.2.). Dabei wurde die Qualität visueller Informationen direkt am Fixationsort unterschiedlich stark manipuliert, unabhängig von der Peripherie. Diese Maske bewegte sich räumlich und zeitlich synchron zur aktuellen Fixation des Betrachters. Die Suchaufgabe bestand darin, bestimmte Objekte in der dargestellten Szene zu finden, wobei die Information am Fixationsort normal, durch Rauschen maskiert oder mit geringerem Kontrast dargeboten werden konnte. Die

Ergebnisse zeigten eine deutliche Verlängerung der Anfangsfixationsdauer (Dauer der ersten Fixation in einer bestimmten Region der Szene) für jegliche Art der Modifizierung visueller Informationen am Fixationsort, im Vergleich zur Kontrollbedingung. Offensichtlich wird die Dauer der ersten Fixation durch die Verfügbarkeit visueller Information am jeweiligen Fixationsort gesteuert. Eine vergleichbare Sensitivität der Fixationsdauer in Abhängigkeit der Verfügbarkeit visueller Informationen am Fixationsort fand Henderson (1997). Als problematisch bei diesen Untersuchungen erweist sich, dass durch die Manipulation der visuellen Information letztlich auch die semantische Interpretation der Szene beeinflusst wird; eine eindeutige Aussage über die Ursache der Fixationsdauerverlängerung ist somit nicht möglich.

Der Einfluss des semantischen Informationsgehalts auf die Fixationsdauer war ebenfalls Gegenstand zahlreicher Untersuchungen (vgl. Henderson & Hollingworth, 1999). Loftus und Mackworth (1978) fanden eine längere Blickdauer der Erstbetrachtung (die Summe aller Fixationsdauern vom ersten Eintritt bis zum ersten Verlassen einer bestimmten Region) für semantisch informative Objekte. Friedman (1979) fand doppelt so lange Fixationsdauern für die Betrachtung von Objekten, die innerhalb einer bestimmten Szenerie eher ungewöhnlich sind (z.B. ein Tintenfisch auf einer Farm), im Vergleich zu Objekten, die zum Kontext der Szenerie passen (z.B. Traktor auf einer Farm). Bei einer Untersuchung von De Graef, Christiaens und d'Ydewalle (1990) traten die Verlängerungen der Fixationsdauer eher zu späteren Zeitpunkten bei der Betrachtung von Szenen auf, während die anfänglichen Fixationen vom semantischen Informationsgehalt eher unbeeinflusst blieben. Befunde der letztgenannten Untersuchung stehen eher im Einklang mit den Ergebnissen der Untersuchungen zu den „Aufmerksamkeitslandschaften“ (Velichkovsky, 2001). Obwohl der genaue Zusammenhang noch teilweise unklar erscheint, gilt als sicher, dass der semantische Informationsgehalt einen Einfluss auf die Dauer der Fixation ausübt.

Für die vorliegende Arbeit stehen neben den Einflüssen des visuellen und semantischen Informationsgehaltes vor allem Veränderungen, die während einer Fixation auftreten, im Mittelpunkt. In der bereits erwähnten Untersuchung von Van Diepen et al. (1995) wurde die Maske bei der visuellen Suchaufgabe zu unterschiedlichen Zeitpunkten (17, 46, 76 oder 121 ms) nach Fixationsbeginn eingeblendet. Die blickkontingenten Veränderungen führten dazu, dass sich die Anzahl der beendeten Fixationen, im Intervall von 90-120 ms nach der Maskierung, deutlich verringerte. Die resultierenden Häufigkeiten der Fixationsdauern entsprachen einer zweigipfligen Verteilung, mit einem Tal im angegebenen Zeitintervall. Durch die Maskierung wird eine kurzfristige Beeinträchtigung der visuellen Informationsaufnahme ausgelöst, die zu einer Verlängerung der aktuellen Fixation führen. De Graef (1998) führt diese Verlängerung auf eine reflexartige Orientierungsreaktion zurück. In einer ähnlichen Studie von Reingold und Stampe (2000), wurde innerhalb einer visuellen Suchaufgabe zufällig zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Intervall von 250 bis 350 ms nach Fixationsbeginn das betrachtete

Bild entweder oberhalb oder unterhalb der Bilddiagonale für 33 ms maskiert. Die Ergebnisse zeigten ebenfalls eine deutliche Verlängerung der Fixationsdauern im beschriebenen Intervall. Die Autoren interpretierten diese Verlängerung als einen, auf unterster Ebene im SC ausgelösten, optomotorischen Reflex.

### 2.4.2 Untersuchungen zum Lesen

Untersuchungen zum Zusammenhang von Blickbewegungen und Lesen haben eine lange Tradition. Bereits 1878 stellte Émile Javal fest, dass die Augen beim Lesen nicht gleichförmig über den Text gleiten, sondern in einer Serie kleiner aufeinanderfolgender Sprünge (Javel, 1878). Mit der Entwicklung entsprechender Methoden zur Blickbewegungsregistrierung stiegen das Interesse und die Erkenntnisse über das Zusammenspiel von Fixationen und Sakkaden beim Prozess des Lesens (Dodge & Cline, 1901; Huey, 1900). Mittlerweile existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Modelle und Ansätze zum Prozess des Lesens im Zusammenhang mit der Steuerung von Augenbewegungen (vgl. hierzu Kennedy, Radach, Heller, & Pynte, 2000).

Die Methode blickkontingenter Untersuchungen wurde zuerst in der Leseforschung entwickelt und eingesetzt, um durch kurzfristige Veränderungen oder Maskierungen des Textes Rückschlüsse über die ablaufenden Prozesse beim Lesen ziehen zu können (vgl. 2.3). Als vorteilhaft beim Lesen von Texten erweist sich dabei, dass das Abtastverhalten der Augen hinsichtlich der Richtung durch den Text vorgegeben ist und sich die Abfrage des gelesenen Materials einfacher gestaltet als bei der Wahrnehmung komplexer Bilder.

Im Kontext der vorliegenden Arbeit interessiert hauptsächlich der Ansatz von Blanchard, McConkie, Zola und Wolverton (1984). Dabei wird angenommen, dass innerhalb einer Fixation zwei aufeinanderfolgende Prozesse ablaufen: Während einer ersten Phase findet die Aufnahme der visuellen Informationen statt (*registration*). Daran schließt sich die Phase an, in der das aufgenommene Material hinsichtlich des Verständnisses verarbeitet wird (*utilization*). Die Aufnahme der Informationen läuft eher parallel und automatisch ab und ist zeitlich festgelegt mit dem Eintreffen visueller Stimuli auf der Retina. Die Prozesse der Informationsaufnahme stellen die Daten bereit, welche für die höheren Sprachverarbeitungsprozesse verwendet werden. Die darauf folgenden Prozesse zur Einbettung dieses Materials in den sprachlichen Hintergrund, laufen eher seriell ab, sind stark aufmerksamkeitsabhängig und variabel über die Zeit, in Abhängigkeit von der Art der bereitgestellten Informationen. Dieses Modell setzt mit Beginn der Fixation eine fest definierte zeitliche Sequenz für die Informationsaufnahme des visuell dargebotenen Materials voraus.

Zur Untersuchung dieses Ansatzes erfolgte eine Maskierung entweder mit dem Beginn der Fixation oder mit unterschiedlicher zeitlicher Verzögerung. In einer

Studie von Blanchard et al. (1984) wurde beispielsweise der Text entweder 50, 80 oder 120 ms nach Fixationsbeginn maskiert. Die Maske wurde für 30 ms dargeboten, danach erschien wieder der Text. Obwohl nicht im Originaltext angegeben, verweisen McConkie, Reddix und Zola (1992) darauf, dass diese Stimulusveränderung zu einer deutlichen Verringerung in der Häufigkeitsverteilung der Fixationen um 80 bis 90 ms nach der Veränderung führt. Dieser Effekt wurde durch eine Unterbrechung der automatisch ablaufenden Enkodierung begründet. Diese ist notwendig, um die Informationen für die höhere Sprachverarbeitung bereitzustellen. In der bereits erwähnten Untersuchung von Reingold und Stampe (2000) sollte dieser Ansatz überprüft werden. Neben der visuellen Suchaufgabe, wurde den Probanden ein Text dargeboten, bei dem zufällig in einem Intervall von 250-350 ms nach Fixationsbeginn der Text für 33 ms entweder maskiert oder vertikal um 0,6° versetzt wurde. Analog zu den Befunden der visuellen Suchaufgabe fanden die Autoren eine deutliche verringerte Anzahl von Fixationen, die in dem Zeitintervall von 90-120 ms nach Maskierung bzw. Modifizierung des Textes beendet wurden. Dies führte ebenfalls zu einer zweigipfligen Häufigkeitsverteilung der Fixationsdauern mit einem entsprechenden Tal im beschriebenen Zeitintervall, was letztlich einer Verlängerung der betroffenen Fixation entspricht.

## 2.5 Der Distraktoreffekt

Die Grundlage für das Auftreten des Distraktoreffektes bildet die Darbietung von kurz aufeinanderfolgenden Reizen, die in vielen experimentellen Anordnungen zur Untersuchung von Augenbewegungen genutzt wird. Dabei fand bislang vor allem der Einfluss auf die Sakkadenlatenz Beachtung, d.h. es wird das Zeitintervall zwischen dem Erscheinen eines Zielreizes und dem Beginn der Sakkade zum beabsichtigten Ziel gemessen. Bei gleichzeitiger oder zeitlich versetzter Darbietung von zwei Reizen, wobei einer der beiden als Zielreiz präsentiert wird und der andere als Distraktor, lässt sich – im Vergleich zur Darbietung eines Einzelreizes – ein deutlicher Anstieg der Sakkadenlatenz nachweisen.

Ariane Lévy-Schoen beschrieb 1969 erstmals diesen Effekt (Lévy-Schoen, 1969). Bei der Studie wurden zwei simultane Zielreize dargeboten, um herauszufinden, zu welchem von beiden eine korrekte Sakkade ausgeführt wird. Die Ergebnisse zeigten, dass der näher an der Fovea gelegene Zielreiz häufiger fixiert wurde. Dabei verlängerten sich die Sakkadenlatenzen um ca. 40 ms, im Vergleich zu Untersuchungen mit einzelnen Zielreizen. Dies gilt vor allem, wenn die Distraktoren kontralateral auf der identischen Position wie der Zielreiz dargeboten werden. Erscheinen hingegen beide Reize (Zielreiz und Distraktor) auf eng beieinander liegenden Positionen, zeigt sich keine Änderung der Sakkadenlatenz, sondern eine Beeinflussung der Sakkadenamplitude. Der Ziel- und Landepunkt der Sakkade liegt dabei in der Mitte der beiden Reize, dieses Phänomen wird als *global effect* beschrieben (Deubel, Wolf, & Hauske, 1984; Findlay, 1982). Ross und Ross (1980;

1981) untersuchten den Einfluss visueller und akustischer Distraktoren auf die Sakkadenlatenz. Dabei konnte eine deutliche Zunahme der Sakkadenlatenz für visuelle Distraktoren, wenn diese 50-150 ms nach dem Zielreiz erschienen, nachgewiesen werden. Für akustische Distraktoren zeigte sich kein Anstieg der Sakkadenlatenz.

In einer Serie von Experimenten wurden von Walker et al. (1997) und Walker, Kentridge und Findlay (1995) die zeitlichen und räumlichen Beziehungen zwischen Distraktor und Zielreiz im Hinblick auf die Amplitude und die Latenz von Sakkaden untersucht. In der ersten Untersuchung (Walker et al., 1995) erschien der Zielreiz 4,5 oder 8,5° rechts des Fixationsortes, zu dem die Probanden so schnell als möglich eine Sakkade ausführen sollten. Zusätzlich wurden im gleichen räumlichen Abstand rechts vom Fixationsort Distraktoren gleichzeitig bzw. 20, 40, 80, 160 oder 240 ms vor oder nach Erscheinen des Zielreizes dargeboten. Bei gleichzeitiger Darbietung von Ziel- und Störreiz wurde die größte Zunahme der Sakkadenlatenz gemessen. Erschien der Distraktor 20, 40 oder 80 ms vor oder nach dem Zielreiz, zeigte sich ebenfalls ein deutlicher Anstieg der Sakkadenlatenz. Für die unterschiedlichen Exzentrizitäten konnten keine Auswirkungen auf die Sakkadenlatenz festgestellt werden. In einer nachfolgenden Untersuchung (Walker et al., 1997) wurde deshalb systematisch die räumliche Beziehung zwischen Zielreiz und Distraktor analysiert. Dabei erschienen Zielreize, wie in Abbildung 2-3 (A) abgebildet, immer rechts des Fixationsortes (Zielreize dargestellt durch x), während die Distraktoren auf verschiedenen Positionen um den Fixationsort dargeboten wurden (Distraktoren dargestellt durch o).

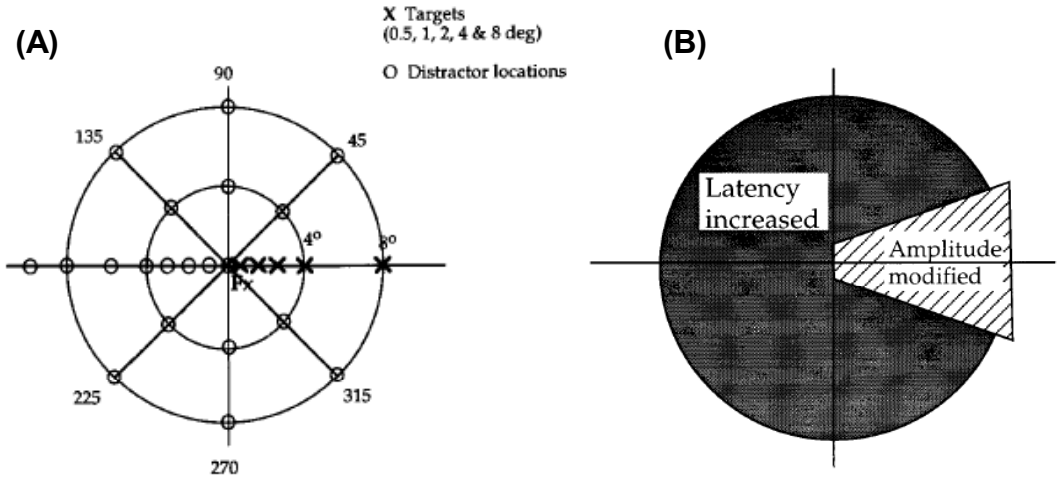


Abb. 2-3: Schematische Diagramm des visuellen Feldes. Darstellung des reziproken Effektes von Sakkadenlatenz und Sakkadenamplitude in Abhängigkeit von der Distraktorposition (aus Walker et al., 1997).

Die Ergebnisse zeigen eine reziproke Beziehung zwischen Sakkadenlatenz und Sakkadenamplitude (vgl. Abb. 2-3 [B]). Vom Zielreiz weit entfernte Distraktoren vergrößern die Sakkadenlatenz, haben aber keinen Einfluss auf die Amplitude,

während nahe am Zielreiz gelegene Distraktoren die Amplitude beeinflussen, ohne auf die Sakkadenlatenz zu wirken. Für den Anstieg der Sakkadenlatenz durch Darbietung von entsprechend entfernten Distraktoren führten die Autoren die Bezeichnung *remote distractor effect* ein. Der Distraktoreffekt lässt sich ca. 100 ms nach der Präsentation des Distraktors beobachten (Walker et al., 1995).

Aufgrund der Fragestellungen und des experimentellen Ablaufs, wurden bei den dargestellten Untersuchungen die Auswirkungen von Distraktoren auf die sakkadische Reaktionszeit gemessen. Neben dem Einfluss auf die Sakkadenlatenzen lässt sich aber auch ein Bezug zur Fixationsdauer herstellen. Da die Sakkadenlatenz als Bestandteil der Fixationsdauer angesehen werden kann, lässt sich aufgrund einer steigenden Sakkadenlatenz auch auf eine Verlängerung der Dauer von Fixationen schließen. Das Erscheinen eines Distraktors bewirkt somit neben dem Anstieg der Sakkadenlatenz, auch eine Verlängerung der Fixationsdauer. Dabei ist wichtig, dass nur die Fixationen verlängert werden, die von der Darbietung eines Distraktors betroffen sind, nachfolgende Fixationen bleiben davon offenbar unbeeinflusst. Da im Mittelpunkt der vorliegenden Arbeit vor allem ereignisbezogene Veränderungen der Fixationsdauer stehen, wird im Folgenden unter der Bezeichnung „Distraktoreffekt“ sowohl ein Anstieg der Sakkadenlatenz, als auch eine Verlängerung der Fixationsdauer zusammengefasst.

### 2.5.1 Modellvorstellungen zum Distraktoreffekt

Aus den vorgestellten Untersuchungen zum Distraktoreffekt wurden bereits einige Ansätze abgeleitet, die das Phänomen zu beschreiben und zu erklären suchen. Im Folgenden sollen diese kurz dargelegt, zusammengefasst und kritisch bewertet werden.

Eine mögliche Erklärung geht zurück auf das bereits beschriebene Modell von Blanchard et al. (1984, vgl. 2.4.2). Dabei wird angenommen, dass nur innerhalb eines fixierten Zeitintervalls nach Fixationsbeginn visuelle Informationen aufgenommen werden. Die kurzfristige Maskierung eines dargebotenen Textes (letztlich vergleichbar mit dem Erscheinen eines Distraktors) innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls nach Beginn einer Fixation, hat demnach eine Unterbrechung der automatisch ablaufenden Enkodierprozesse zur Folge (McConkie et al., 1992), wodurch eine Verlängerung der aktuellen Fixation hervorgerufen wird. Die Schlussfolgerungen aus der Untersuchung zur Wahrnehmung komplexer Szenen von Van Diepen et al. (1995) weisen in eine ähnliche Richtung: Für Maskierungen, die kurz nach Fixationsbeginn auftreten, wird die Unterbrechung der Enkodierung angenommen; spätere Maskierung verhindert die Verlagerung der Aufmerksamkeit, wodurch die Auswahl des nächsten Fixationsortes verzögert wird.

In der Studie von Reingold und Stampe (2000) führte die Manipulation der visuellen Information innerhalb von 250 bis 350 ms bzw. 300 bis 400 ms nach

Fixationsbeginn zu vergleichbaren Ergebnissen, woraus die Autoren schlussfolgern, dass es sich bei dem Effekt um einen, im SC ausgelösten optomotorischen Reflex handelt.

Innerhalb des vorgestellten Modells von Findlay und Walker (1999) wird der Distraktoreffekt auf eine ansteigende Aktivität im „Fixieren"-Zentrum zurückgeführt. Dadurch wird die Generierung einer Sakkade verhindert. Diese Modellvorstellungen stehen im Einklang mit der Interpretation des Distraktoreffekts als optomotorischer Reflex von Reingold und Stampe (2000). Die kurze, durch den Distraktor visuell induzierte, Aktivität hemmt den Aufbau sakkadischer Aktivität durch Aktivierung der hemmenden Verbindungen der *build-up* Neurone, wodurch der Aufbau präsakkadischer Aktivität in anderen *buil-up* Neuronen reduziert wird (Munoz & Istvan, 1998). Walker et al. (1997) schlagen als Erklärung vor, dass sich die kurze visuelle Aktivität stimulierend auf die Fixationsneurone auswirkt, wodurch sich ebenfalls die präsakkadische Aktivität der *build-up* Neurone verringert. In beiden Fällen folgt ein inhibitorischer Effekt mit einer kurzen Latenz.

Anhand der dargestellten Modellansätze wird deutlich, dass der Distraktoreffekt vor allem auf die Einflüsse visueller Distraktoren zurückgeführt wird. Dabei wird in der Mehrzahl der neueren Untersuchungen besonders der Zusammenhang zwischen Distraktoren und deren Auswirkungen auf die Sakkadenlatenz betont. Die Verlängerung der Fixationsdauer wird meist als Unterbrechung der Informationsaufnahme interpretiert. Für weiterführende Erklärungen wird auf Prozesse der Einordnung von Informationen in den semantischen Kontext verwiesen. Die Daten über das Auftreten des Effektes im Zusammenhang mit akustischen Distraktoren sind widersprüchlich (Frens et al., 1995; Hughes et al., 1994; S. M. Ross & Ross, 1981).

### 2.5.2 Voruntersuchung und Erklärungsvorschlag

Die Basis für die hier vorgestellten Untersuchungen bildet eine Studie, die am Lehrstuhl für Kognitive Ergonomie und Ingenieurpsychologie durchgeführt wurde (Pannasch, Dornhoefer, Unema, & Velichkovsky, 2001):

An dem Experiment nahmen sechzehn Studenten der TU Dresden teil. Der detaillierte Versuchsaufbau und –ablauf entsprach dem unter 5.1 dargestellten Design. Den Probanden wurden verschiedene Gemälde (Kopien von Werken holländischer Maler des 17. Jahrhunderts) als digitalisierte Bilder am Computerbildschirm gezeigt. Während der Bildbetrachtung wurden entweder visuelle Distraktoren (schwarzer Kreis mit 1° Durchmesser, 2,3° rechts des Fixationsortes) oder akustische Distraktoren (ein 1000 Hz Ton, präsentiert über PC-Lautsprecher) dargeboten. Für die Implementierung der Distraktoren während des Experiments wurde das unter 2.3 beschriebene Verfahren blickkontingenter Stimulusmanipulation verwendet. Die beiden Distraktorarten erschienen bei ca. jeder 7.

Fixation, entweder 100 ms oder 300 ms nach Fixationsbeginn. Die Aufgabe der Probanden bestand darin, die präsentierten Bilder aufmerksam zu betrachten, um im Anschluss an die Darbietung unterschiedliche Bildausschnitte als zum eben betrachteten Bild zugehörig bzw. nicht zugehörig klassifizieren zu können. Die erscheinenden Distraktoren sollten ignoriert werden. Als wesentlichster Befund dieser Untersuchung konnte nachgewiesen werden, dass nicht nur die Darbietung visueller Störreize, sondern auch die Präsentation akustischer Distraktoren, zu einem deutlichen Anstieg der Fixationsdauer führt (vgl. Abb. 2-4).

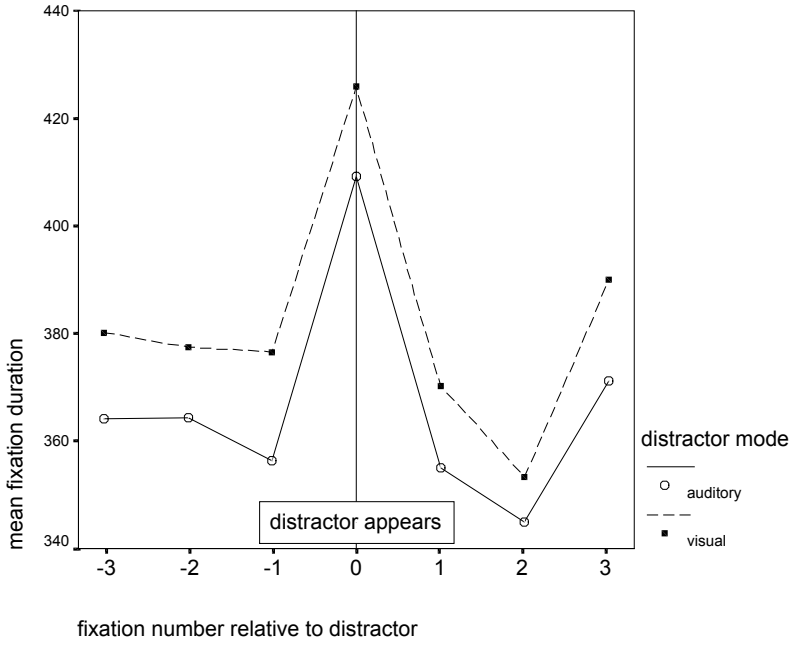


Abb. 2-4: Aktuelle Fixationsdauer relativ zur Distraktordarbietung in Abhängigkeit von der Distraktormodalität (aus Pannasch et al., 2001).

Diese Verlängerung der Dauer visueller Fixationen zeigte sich sowohl bei einer Latenz von 100, als auch bei 300 ms, ebenfalls für beide Modalitäten (visuell = durchbrochene Linie; akustisch = durchgezogene Linie). Bei den Ergebnissen handelt es sich um stabile Effekte, die auch im Einklang mit Befunden aus vorangegangenen unveröffentlichten Untersuchungen mit einer virtuellen Fahrumgebung in Einklang gebracht werden konnten. Bei der Studie zeigte sich eine deutliche Verlängerung einzelner Fixationen bei der Bearbeitung von verbalen Nebenaufgaben. Anhand der Daten konnte nachgewiesen werden, dass sich die Fixationsdauer immer dann deutlich verlängerte, wenn die Probanden vom Zuhören auf Antworten, bzw. vom Antworten auf Zuhören umschalteten. Die Ergebnisse entsprachen dem in Abbildung 2-4 dargestellten Verlauf.

Bei der Betrachtung der Häufigkeitsverteilungen der Fixationsdauern zeigt sich, dass der Effekt am deutlichsten in einem Intervall von 80-120 ms nach Erscheinen des Distraktors nachweisbar ist (vgl Abb. 2-5). Diese zeitliche Stabilität gilt für beide Distraktorlatenzen (100 und 300 ms) und für beide Distraktormodalitäten

(*baseline* = durchbrochene Linie; visuell = gepunktete Linie; akustisch = durchgezogene Linie).

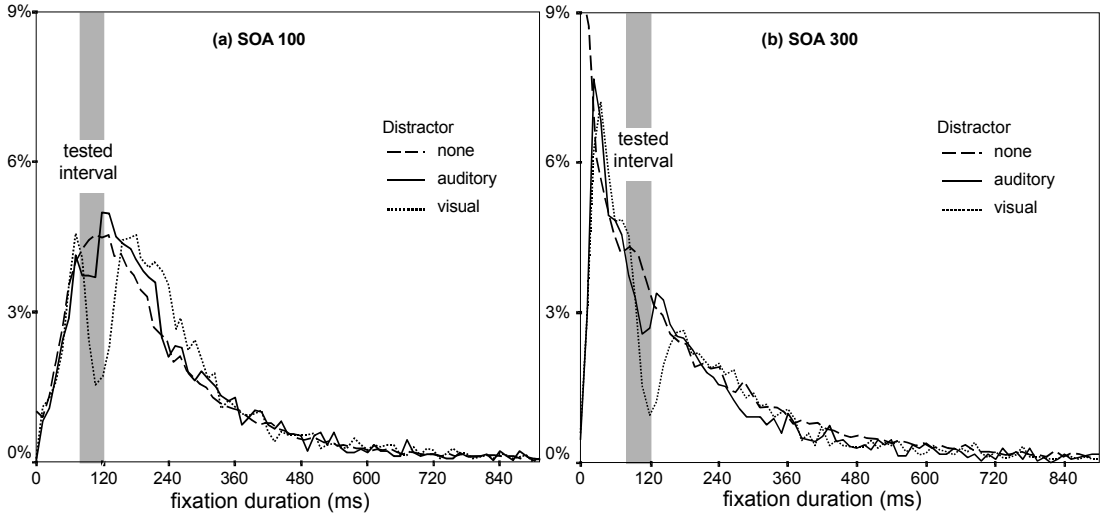


Abb. 2-5: Häufigkeitsverteilung der Fixationsdauern (Fixationsdauer minus SOA [*Stimulus Onset Asynchrony*]) für (a) SOA 100 und (b) SOA 300.

Ausgehend von den Ergebnissen dieser ersten Distraktoruntersuchung, erscheinen alle bisher vorgeschlagenen Modellansätze, die ausschließlich Erklärungen für visuelle Distraktoren liefern, unzulänglich. Lediglich De Graef (1998) verweist bei dem beschriebenen Effekt auf eine „reflexartige Orientierungsreaktion", allerdings sind im Originaltext keine detaillierten Ausführungen über das Konzept dieser Interpretation zu finden. Anhand der dargestellten Daten wird offensichtlich, dass ein umfassenderes Konzept benötigt wird, um den beschriebenen Effekt angemessen erklären zu können. Vor diesem Hintergrund wurde von (Pannasch et al., 2001) vorgeschlagen, zu überprüfen, ob sich Parameter des Distraktoreffekts nachweisen lassen, die eine Eingliederung in das Konzept der Orientierungsreaktion ermöglichen.

## 2.6 Orientierungsreaktion

Da die Modellvorstellungen hinsichtlich des Distraktoreffekts eher auf die Interpretation im Rahmen einer breiter anzunehmenden Orientierungsreaktion (OR) gerichtet sind, sollen im Folgenden kurz wesentliche Kriterien dazu dargelegt werden (für eine detaillierte Beschreibung vgl. Sokolov, 1963).

Aufbauend auf dem von Pavlov (1927) beschriebenen Orientierungsreflex wurde von Sokolov (1963) das Grundkonzept der OR entwickelt. Eine OR ist ein Kennzeichen dafür, dass vom Organismus eine Stimulusveränderung entdeckt wurde. Dabei spielt die Art der Veränderung des Stimulus keine Rolle, d.h. unabhängig

davon, ob eine Verstärkung, Abschwächung oder Qualitätsänderung des Reizes auftritt, kann eine OR gemessen werden. Eine OR lässt sich anhand somatischer (z.B. Bewegungen des Körpers bzw. Kopfes, sowie der Augen), autonomer (z.B. Änderungen des Kreislaufs und der Atmung) und elektroenzephalographischer Komponenten (z.B. Anstieg oder Abnahme des Alpha-Rhythmus bzw. Änderungen der kortikalen Aktivität) nachweisen (Graham & Clifton, 1966; Sokolov, 1963; Turpin, 1983). Die OR beruht auf der Annahme, dass eintreffende sensorische Reize mit einem neuronalen Modell über zu erwartende Stimuli verglichen werden (Sokolov, 1960). Nur bei mangelnder Übereinstimmung zwischen Reiz und Modell findet eine OR statt.

Wie bereits dargestellt, beruht das Konzept der OR auf einem Reflex, welcher sich aber deutlich von anderen Reflexen (z.B. Defensivreaktion [DR], Schreckreflex [SR]) unterscheiden lässt. Durch folgende vier Kriterien ist die OR gekennzeichnet:

(1) Die Reaktion muss auf neue Reize sensitiv sein,

(2) Die Reaktion muss habituieren,

(3) Das Auftreten eines neuen Reizes sollte vergleichbare OR auslösen wie das plötzliche Ausbleiben eines erwarteten Reizes und

(4) Geringe Reizintensität sollte zu einer OR führen, hohe Reizintensität sollte eine DR zur Folge haben.

Durch extrem steile Anstiegszeiten der Reizintensität wird ein SR ausgelöst (Birbaumer & Schmidt, 1991). In einer Zusammenfassung wurde von Figar (1965) dargelegt, dass Kennzeichen einer OR unter anderem durch visuelle, akustische und taktile Stimuli hervorgerufen werden können.

Im Zusammenhang mit den nachfolgend dargestellten Experimenten, ist vor allem die Habituation der OR von Interesse. Damit ist gemeint, das sich mit jeder erneuten Präsentation eines Reizes die Intensität der OR verringert (Wang, 1995). Als Ursache dafür kann entweder ein Anstieg der Schwelle für die Reaktionsgenerierung oder eine Abnahme der Sensitivität gegenüber dem hervorrufenden Reiz angenommen werden. Verschiedene Hirnregionen (z.B. der präfrontale Kortex, vgl. Fuster, 1997) wurden mit der Habituation in Zusammenhang gebracht, wobei im einfachsten Fall davon ausgegangen werden kann, dass Neuronen durch wiederholte Aktivierung habituieren (Wang, 1995). Diese vereinfachte Erklärung reicht jedoch nicht aus, um die Komplexität der Habituation umfassend zu erklären. Ändert sich ein Stimulus hinsichtlich irgendeiner Reizdimension, wird normalerweise wieder eine OR hervorgerufen. Für akustische Reize kann dies die Tonhöhe, Lautstärke oder Dauer sein. Zusätzlich kann eine OR auch durch das Ausbleiben eines erwarteten Tonsignals hervorgerufen werden (O'Keefe & Nadel, 1978). Ebenso bewirket auch die zeitliche Verschiebung der Reizpräsentation das

erneute Hervorrufen einer OR (R. F. Thompson & Spencer, 1966). Des Weiteren verursacht auch einer neuer Kontext das Wiedererscheinen einer OR (Gray, 1975; Wang, 1995). Ein zusätzlicher Einflussfaktor kann Müdigkeit sein, die ebenfalls ein erneutes Auftreten der OR zur Folge haben kann (Gray, 1975; Sokolov, 1960). Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass eine Habituation nur auftritt, wenn der erwartete Reiz vollständig mit den vorangegangenen Ereignissen übereinstimmt.

### 2.6.1 Orientierungsreaktion und ereigniskorrelierte Potentiale

Wie bereits erwähnt, lässt sich eine OR und folglich auch die Habituation der selbigen mittels EEG nachweisen. Aus EEG´s lassen sich ereigniskorrelierte Potentiale (EKP´s) bilden, wobei nach Reihenfolge des Auftretens und der jeweiligen Polarität einzelne Komponenten (N1, P1, N2, P2, [N3], P3, N4) unterschieden werden. Vielfach konnte nachgewiesen werden, dass die wiederholte Präsentation eines Reizes zu einer Abnahme verschiedener Komponenten der EKP´s führten (z.B. Barry, Cocker, Anderson, Gordon, & Rennie, 1992; Ravden & Polich, 1998; Romero & Polich, 1996; Rust, 1977; Sokolov, 1963).

Besonders wichtig erscheinen in diesem Zusammenhang die Komponenten N1 und P3. Bei der N1 (oder auch N100) Komponente handelt es sich um eine Negativierung mit einer ungefähren Latenz von 100 ms. Entsprechend handelt es sich bei der P3 (oder P300) Komponente um eine positive Auslenkung mit einer Latenz von ca. 300 ms. Für beide konnte eine Abnahme der Amplitude bei wiederholter Stimuluspräsentation nachgewiesen werden (Kenemans, Verbaten, Roelofs, & Slangen, 1989; Verbaten, Roelofs, Sjouw, & Slangen, 1986). Neben einer deutlich schnelleren Habituation der N1 Komponente erscheint als wesentlicher Unterschied, dass die N1 Komponente sich sowohl bei relevanten (Zielreiz) als auch bei irrelevanten Reizen (z.B. Distraktoren) in gleichem Maße verringerte (Bruin, Kenemans, Verbaten, & Van der Heijden, 2000; Verbaten et al., 1986). Die Amplitude der P3 Komponente scheint hingegen besonders sensibel auf relevante Reize zu reagieren (Verleger, 1988, 1998).

# 3 FRAGESTELLUNGEN UND ABLAUF

Für die Experimente, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführt wurden, erfolgte eine Zusammenführung von zwei bzw. drei verschiedenen Untersuchungsgebieten aus den Bereichen der Blickbewegungs- und Kognitionsforschung. Einerseits galt es, Erkenntnisse und Paradigmen aus Untersuchungen zur Wahrnehmung von komplexen Szenen zu integrieren, gemeinsam mit Ergebnissen aus der Leseforschung. Andererseits sollte, darauf aufbauend, das Phänomen des *remote distractor effects* genauer spezifiziert werden. Dabei bestand ein besonderes Anliegen darin, den eher artifiziellen Laborcharakter der Untersuchungen zum *remote distractor effect* (i.S. von der üblichen „Fixieren-Springen" Aufgaben) auf eher realistische Umgebungen auszuweiten.

Die oben erwähnten Gemeinsamkeiten bzw. Unterschiede von Fixationsdauer und Sakkadenlatenzen (vgl. 2.5) als abhängige Variablen machten es zuerst sinnvoll, die Frage zu stellen, inwieweit mögliche Parallelen für den *remote distractor effect* in den Daten der Fixationsdauer zu finden sind. Ein deutlicher Vorteil dieser Fragestellung besteht darin, mit wesentlich realitätsnäheren Situationen und Aufgaben zu arbeiten und den Distraktor zur Untersuchung von noch zu bestimmenden Prozessen bei verschiedenen ablaufenden Tätigkeiten einzusetzen.

Die in diesem Zusammenhang auftretende Frage nach der ökologischen Validität solcher Distraktoren lässt sich mit folgendermaßen beantworten:

1. Dem Anstreben der ökologischen Validität sind aufgrund der experimentellen Methodologie immer Grenzen gesetzt.

2. Die Distraktoren gelten nur bedingt als artifiziell, beispielsweise im akustischen Bereich ist das Auftauchen solcher Reize völlig normal. Ähnliche visuelle Stimuli sind z.B. als sogenannte *mudsplashes* durchaus bekannt und werden gegenwärtig in Studien zur Veränderungsblindheit intensiv erforscht (O'Regan, Deubel, Clark, & Rensink, 2000; O'Regan, Rensink, & Clark, 1999)

3. Die abrupten blickkontingenten Veränderungen der visuellen Stimulation sind auch wegen der hohen Zeitauflösung unserer Experimente nicht so unnatürlich wie sie scheinen: Das menschliche Auge führt pro Tag mehr als 200.000 Sakkaden aus (dazu eine große Anzahl von Lidschlägen), die mit abrupter Unterbrechung visueller sensorischer Verarbeitung verbunden sind. Nach einer Sakkade sollen sich visuelle Mechanismen in der Umgebung schnell orientieren (Bridgeman, Van der Heijden, & Velichkovsky, 1994; Bridgeman, Van der Heijden, & Velichkovsky, 1996; Velichkovsky & Van der Heijden, 1994).

Aufbauend auf den Ergebnissen, der unter 2.5.2 dargestellten Untersuchung, entwickelten sich eine Reihe von Fragen, von denen einige innerhalb der vorliegenden Arbeit beantwortet werden sollen.

In einem ersten Schritt wurden die zeitlichen Aspekte des Distraktoreffekts untersucht. Dafür erschienen Distraktoren mit verschiedenen Latenzen nach Fixationsbeginn. Dabei sollte geprüft werden, ob sich die Befunde der Voruntersuchung sowohl hinsichtlich der zeitlichen Stabilität als auch bzgl. der Modalitäten replizieren lassen. Außerdem galt es herauszufinden, ob Unterschiede bei der zeitlichen Darbietung den Ansatz von McConkie et al. (1992) unterstützen und somit Distraktoren zu verschiedenen Zeitpunkten innerhalb der Fixation unterschiedliche Verarbeitungsprozesse beeinflussen. In diesem Zusammenhang war ebenfalls von Interesse, welche Auswirkungen unterschiedliche Distraktormodalitäten dabei zeigen.

Innerhalb der zweiten Untersuchung wurde speziell für visuelle Distraktoren geprüft, ob und unter welchen Darbietungsbedingungen sich der Parameter der Habituation, welcher als wesentliches Kennzeichen der Orientierungsreaktion gilt, nachweisen lässt. Dafür wurden visuelle Distraktoren einerseits auf umweltbezogenen festen Positionen und andererseits auf retinal fixierten Koordinaten präsentiert.

Basierend auf diesen Ergebnissen wurden für die anschließende dritte Untersuchung simultan Blickbewegungen und ereigniskorrelierte Potentiale aufgezeichnet. Dabei stand die parallele Analyse zeitlicher Effekte von Komponenten der EKP's und Augenbewegungen, sowie hinsichtlich des Effektes an sich, im Vordergrund. Vor allem aber sollte mit Hilfe dieser experimentellen Anordnung geprüft werden, ob eine Habituation der N1-Komponente der EKP's nachweisbar ist.

Mittels der letzten Untersuchung sollte – eher explorativ – getestet werden, inwieweit sich die Neuinterpretation des Effektes mit neurophysiologischen Erkenntnissen vereinbaren lässt.

# 4 ZIELE

Da der Fixationsdauer als Indikator mentaler Prozesse immer größere Bedeutung in Forschung, Theoriebildung und Anwendungsbereichen beigemessen wird, besteht das Ziel darin zu klären, inwieweit sich verschiedene Ereignisse auf die Dauer und Verteilungsform von Fixationen bei freier Exploration von Bildern auswirken. Die Auswertung der Literatur zu diesem Thema zeigte, dass für Veränderungen, die während einer Fixation auftreten gegenwärtig kaum Erkenntnisse vorliegen, zumindest für das vorliegende Paradigma ließen sich keine experimentellen Ergebnisse finden. Insofern kann davon ausgegangen werden, dass mit den Untersuchungen der vorliegenden Arbeit in gewisser Weise Neuland betreten wird.

Neben dem Erkenntnisgewinn im Bereich der Grundlagenforschung sind die bereits gefundenen und die noch zu erwartenden Ergebnisse nicht ohne praktischen Bezug. Weiterführend werden hierbei Fortschritte vor allem in den folgenden zwei Anwendungsbereichen erhofft:

1. Eine Verlängerung der Fixation (möglicherweise bis zu 1 Sekunde) ist für viele ophthalmologische Untersuchungen und operative Eingriffe von Bedeutung. Beispielsweise geht es bei optischer Kohärenztomographie um die stabile Positionierung des Laserstrahls auf dem Augenhintergrund. Neben operativen Verfahren oder einer aktiven blickkontingenten Stabilisierung mittels *eyetracking* sind in dem Bereich durchaus auch Verfahren der psychologischen Immobilisierung interessant, die sich aus den Ergebnissen der vorliegenden und weiterführender Experimente entwickeln können

2. Bei der Entwicklung der modernen AAS (*adaptive assistance systems*) ist es wichtig, objektive Indikatoren der Situationskognition zu finden. Von sehr großer Bedeutung ist dabei die Unterscheidung zwischen der einfachen Wahrnehmung einer Veränderung und der Wahrnehmung einer relevanten Veränderung. Eine technische Realisierung der psychophysiologischen Kontrolle, z.B. mittels EKP, im Auto oder im Cockpit eines Flugzeuges ist auch in Zukunft kaum vorstellbar, wohl aber eine Chronometrie der Fixationsdauer.

# 5 EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden vier Experimente durchgeführt, mit deren Hilfe das oben beschriebene Phänomen der ereignisbezogenen Verlängerung visueller Fixationen näher spezifiziert werden soll. Da sowohl der experimentelle Versuchsaufbau, als auch der Ablauf innerhalb der einzelnen Untersuchungen prinzipiell recht ähnlich ist, sollen im Folgenden ausführlich die allgemeinen Untersuchungsmethoden dargestellt werden. Auf Abweichungen bzw. spezifische Details wird bei der Darstellung der einzelnen Experimente hingewiesen.

## 5.1 Methoden - globales Design

#### 5.1.1.1 Versuchspersonen

Die Probanden für die nachfolgend dargestellten Untersuchungen wurden überwiegend aus dem Studiengang Psychologie geworben, die im Rahmen des Studienplans Probandenstunden nachweisen müssen. Studenten anderer Fachrichtungen wurden mit € 5 pro Versuchsstunde vergütet.

#### 5.1.1.2 Aufbau und Geräte

Für die Realisierung der Untersuchungen wurden zwei Rechner benötigt, ein Darbietungsrechner zur Steuerung der Experimente und ein zweiter Rechner für die Aufzeichnung der Blickbewegungen. Die Kommunikation zwischen beiden Rechnern verlief im TCP/IP-Protokoll über Netzwerkhardware. Die Aufzeichnung der Blickbewegungen erfolgte mit einer Frequenz von 250 Hz, dabei wurde das EyeLink™ I System eingesetzt, mit dem eine *online* Erkennung von Sakkaden und Fixationen möglich ist. Die Erkennung eines Fixationsbeginns und Übertragung zu dem Darbietungsrechner erfolgte mit einer Verzögerung von ca. 12 ms. Die visuellen Stimuli wurden auf einem 19 Zoll Computerbildschirm mit einer Bildwiederholfrequenz von 100 Hz dargeboten.

### 5.1.2 Stimulusmaterial

Als visuelles Stimulusmaterial wurden den Versuchspersonen verschiedene farbige Bilder dargeboten (Abb. 5-1). Bei dem Bildmaterial handelte es sich um Gemälde von unterschiedlichen Malern. Die Bilder beinhalteten zwischenmenschliche Handlungen, wobei die Objekte bzw. Protagonisten relativ gleichmäßig über die gesamte Darbietungsfläche verteilt waren. Die Darbietung solcher „natürlicher“

Reizvorlagen im Gegensatz zu eher synthetischen Bildern wird u.a. damit begründet, dass ein möglichst natürliches Abtastverhalten bei der Betrachtung der Stimuli provoziert werden sollte.

Abb. 5-1: Beispiele für Stimulusbilder.

Die Darbietung visueller Distraktoren wurde entweder durch die Umkehrung der Farben (Inversion) der entsprechenden Bildposition oder durch das Erscheinen eines visuellen Stimulus (z.B. weißer Kreis) realisiert. Auf die Größe und den Ort des Distraktors wird jeweils bei der Beschreibung der einzelnen Experimente explizit hingewiesen. Die Darbietung akustischer Distraktoren erfolgte über PC-Lautsprecher mit einer Lautstärke von ca. 65 dB.

### 5.1.3 Versuchsablauf

Die Probanden saßen in einem Abstand von 90 cm vor dem Bildschirm. Die Bilder wurden für ein bestimmtes Zeitintervall auf einem Bildschirm präsentiert. Während der Betrachtung erfolgte – je nach Fragestellung – die Implementierung der verschiedenen Distraktoren. Die Probanden wurden instruiert, die Bilder aufmerksam zu betrachten, da im Anschluss an jedes Bild verschiedene Fragen zu Bilddetails zu beantworten waren. In Abhängigkeit von der jeweiligen Fragestellung, wurden einzelne Parameter hinsichtlich der Distraktordarbietung variiert.

Zu Beginn jedes Versuchsabschnitts wurde zunächst eine Kalibrierung der Augenkamera vorgenommen. Dafür wurde auf dem Bildschirm ein Punkt präsentiert, der nacheinander in zufälliger Abfolge auf einer von neun vordefinierten Positionen erschien. Die Probanden hatten dabei den Punkt auf der jeweiligen Position zu fixieren. Die Kalibrierung wurde wiederholt, wenn für die Abweichung des Fixationsortes von einem der dargebotenen Punkte ein Wert von >1° gemessen wurde bzw. wenn die durchschnittliche Abweichung aller neun Punkte einen Wert von 0,5° überschritt.

In Abbildung 5-2 ist der Versuchsablauf, der für alle im folgenden beschriebenen Experimente verwendet wurde, schematisch dargestellt. Die Anzahl und die Dauer der Bilddarbietungen variierte dabei je nach Fragestellung, ebenso wie die Arten, Dauern und Positionen der dargebotenen Distraktoren.

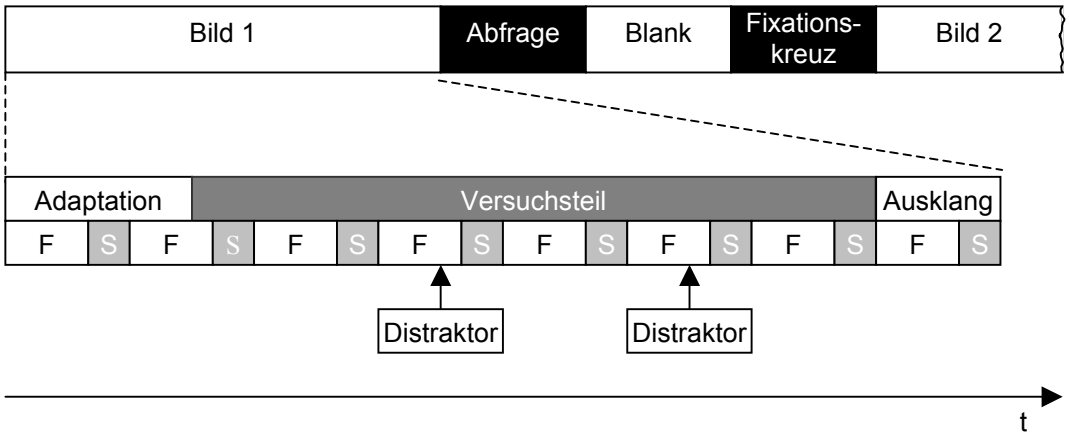


Abb. 5-2: Struktur des Versuchsablaufs (F = Fixation; S = Sakkade).

Der zeitliche Rahmen für die Abfrage war offen, also erst nachdem alle Fragen beantwortet waren, wurde der Versuch fortgesetzt. Es erschien ein *Blank*, d.h. es wurde für die Dauer von ca. 1 s eine graue bzw. schwarze Bildschirmoberfläche dargeboten. Das anschließend erscheinende Fixationskreuz in der Bildmitte diente der Driftkorrektur. Mittels der Driftkorrektur ließen sich mögliche leichte Verschiebungen der Augenkamera kompensieren. Nach erfolgreicher Driftkorrektur begann der nächste Abschnitt mit dem folgenden Bild. Die Darbietung der einzelnen Bilder gliederte sich in drei Abschnitte: Zu Beginn und am Ende (ca. 5-10 s) fand keine experimentelle Beeinflussung der Fixationen statt (Adaptation, Ausklang), um mögliche Konfundierungen auszuschließen. Die Anzahl, Abfolge und die Position der Distraktoren innerhalb des einzelnen Versuchsteils bzw. innerhalb der Fixationen ist nur symbolisch angedeutet und wurde entsprechend der jeweiligen Fragestellung modifiziert. Auf die genauen Zeitintervalle wird bei jeder einzelnen Untersuchung konkret hingewiesen. Alle Experimente erfolgten komplett im Messwiederholungsdesign.

## 5.2 Experiment 1: Unterschiedliche Modalitäten und verschiedene Latenzen

Innerhalb der ersten Untersuchung sollten vor allem zwei gegenwärtig existierende Ansätze zum Distraktoreffekt geprüft werden: Der auf dem Modell von Blanchard et al. (1984) basierende Ansatz von McConkie et al. (1992) geht von einem festen Zeitintervall für die Aufnahme visueller Informationen zu Fixationsbeginn aus (vgl. 2.4.2). Im Anschluss ablaufende Prozesse, sind eher für die Integration der

verarbeiteten visuellen Informationen in den semantischen Hintergrund verantwortlich. Veränderungen innerhalb einer Fixation sollten sich nach Meinung der Autoren folglich nur im Intervall der Informationsaufnahme im Blickverhalten widerspiegeln, Beeinflussungen der Fixationsdauer zu späteren Zeitpunkten würden im Widerspruch zu diesem Ansatz stehen. Der zweite Erklärungsansatz basiert auf den unter den Punkten 2.4.1 bzw. 2.4.2 vorgestellten Untersuchungen von Reingold und Stampe (2000) und wurde unter 2.5.1 eingehender diskutiert. Innerhalb dieses Ansatzes wird ein rein optomotorischer Reflex als Ursache für das Phänomen angenommen. Bei einem Vergleich von visuell und akustisch präsentierten Distraktoren, sollten, laut Modell, lediglich visuelle Veränderungen das Blickverhalten beeinflussen.

Zur Überprüfung der beschriebenen Fragestellungen soll einerseits die Auswirkung von Distraktoren zu verschiedenen Zeitpunkten innerhalb einer Fixation untersucht und die Präsentation visueller und akustischer Distraktoren verglichen werden.

Als **unabhängige Variablen** wurden variiert:

| | |
|---|---|
| Distraktorlatenz: | Zeitpunkt der Distraktorpräsentation nach Beginn einer Fixation. Es wurden sieben verschiedene Distraktorlatenzen verwendet, beginnend bei 50 ms, aufsteigend in Intervallen von 50 ms (50, 100, 150, 200, 250, 300 und 350 ms). |
| Distraktormodalität: | Es wurden zwei unterschiedliche Distraktormodalitäten gewählt, visuell und akustisch. |

Als Messgröße galt die Fixationsdauer. Da in diesem Fall jedoch nicht die mittlere Fixationsdauer von Interesse war, sondern der Verlauf der Häufigkeitsverteilung wurden folgende **abhängige Variablen** ausgewertet:

| | |
|---|---|
| Effektlatenz: | Aufgrund der unter 2.5.2 beschriebenen Ergebnisse sollte der inhibitorische Effekt für das Intervall 80-120 ms nach der Darbietung des Distraktors geprüft werden. Dabei galt, dass die Unterschiede zwischen den Häufigkeitsverteilungen der Fixationsdauer innerhalb dieses Intervalls verglichen mit Verteilungen von Fixationen ohne Distraktor am größten sein sollten. Die Effektlatenz galt also als Maß für zeitliche Aspekte der Distraktordarbietung. |
| Effektstärke: | Es sollte das Verhältnis der Fixationsdauern bei Fixationen mit und ohne Distraktor verglichen |

werden. Die Effektstärke sollte das Ausmaß der Unterschiede zwischen Fixationen mit vs. ohne Distraktoren angeben.

### 5.2.1 Hypothesen

H I Distraktorlatenz: Die Effektlatenz ist für alle Distraktorlatenzen gleich.

H II Distraktorlatenz: Die Effektstärke ist für alle Distraktorlatenzen gleich.

H III Distraktormodalität: Die Effektlatenz bleibt für beide Distraktormodalitäten (akustisch und visuell) gleich.

H IV Distraktormodalität: Die Effektstärke unterscheidet sich bei den verschiedenen Distraktormodalitäten nur geringfügig. (Bei der unter 2.5.2 dargestellten Untersuchung zeigte sich, dass visuelle Distraktoren einen stärkeren inhibitorischen Effekt auf die Fixationsdauer ausüben als akustische Distraktoren. Da die Distraktordarbietung analog zum beschriebenen Experiment erfolgte, werden für diese Untersuchung ebenfalls geringere Effektstärken erwartet.)

### 5.2.2 Methode

#### 5.2.2.1 Versuchspersonen

An dem Experiment nahmen 17 Versuchspersonen teil. Das mittlere Alter der Stichprobe betrug 23,41 Jahre (SD = 2,67; 20-30 Jahre; 10 Frauen und 7 Männer). Bei den Versuchsteilnehmern handelte es sich größtenteils um Studenten der Fachrichtung Psychologie sowie um Studenten anderer Fachrichtungen der TU Dresden. Alle Probanden waren normalsichtig bzw. trugen Sehhilfen, die eine Normalsichtigkeit gewährleisteten, um die Aufgaben des Versuchs bewältigen zu können.

#### 5.2.2.2 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau entsprach den Angaben unter 5.1.1.2.

#### 5.2.2.3 Stimulusmaterial

Den Probanden wurden zehn verschiedene Bilder bei einer Auflösung von 800 x 600 Pixel dargeboten (vgl. Abb. 5-1). Während der Bildbetrachtung erschienen visuelle und akustische Distraktoren. Beide Arten von Distraktoren wurden zu sieben verschiedenen Zeitpunkten innerhalb der Fixationen dargeboten: 50, 100, 150, 200, 250, 300 und 350 ms nach Fixationsbeginn. Die visuellen Distraktoren wurden zusätzlich noch räumlich blickkontingent dargeboten (immer 50 Pixel links des Fixationsortes). Die Implementierung des visuellen Distraktors erfolgte durch eine Inversion der Farben des jeweiligen Bildbereiches mit einer Größe von 50 x 50 Pixel. Als akustischer Distraktor wurde ein 900 Hz Sinus-Ton mit einer Lautstärke von ca. 65 dB verwendet, der über PC-Lautsprecher links und rechts des Monitors dargeboten wurde.

#### 5.2.2.4 Versuchsablauf

Der Versuch bestand aus zwei aufeinanderfolgenden Blöcken. Während des ersten Blockes erschienen die visuellen, während des zweiten Blockes die akustischen Distraktoren. Innerhalb eines Blockes wurden per Zufallsauswahl fünf der zehn Bilder ausgewählt und in zufälliger Abfolge präsentiert. Pro Bild erschienen 21 Distraktoren mit einer Dauer von 75 ms, d.h. für jede der sieben verschiedenen Latenzen gab es jeweils drei Distraktoren pro Bild. Anhand einer mit Delphi V entwickelten Routine wurde durchschnittlich jede fünfte Fixation für die Distraktordarbietung ausgewählt. Die Auswahl der entsprechenden Distraktorlatenz erfolgte ebenfalls per Zufall. Falls die Fixation bereits vor dem Erreichen der notwendigen Latenz beendet wurde, fand keine Distraktordarbietung statt und es wurde auf die nächste Fixation mit der entsprechenden Länge gewartet. Dadurch konnte sichergestellt werden, dass die Darbietung des Distraktors mit der geforderten Latenz auch wirklich innerhalb einer Fixation erfolgte. Im Anschluss an die Betrachtung jedes einzelnen Bildes wurden den Probanden 5 Fragen zu den jeweiligen Bildinhalten präsentiert, die mit „ja“ oder „nein“ zu beantworten waren.

### 5.2.3 Ergebnisse

In die Datenanalyse wurden Fixationen mit einer minimalen Dauer von 40 ms und einer maximalen Dauer von 1500 ms einbezogen. Im vorliegenden Experiment wurden aufgrund dieser Restriktionen 1,39% der erhobenen Daten von der weiteren Analyse ausgeschlossen. Das Intervall für die gültigen Fixationsdauern wurde anhand der Spezifikationen der Blickbewegungskamera festgelegt, d.h. bei Messwerten außerhalb des angegebenen Intervalls bestand das Risiko, dass es sich um artefaktbehaftete Daten handelte.

Für eine erste Analyse wurden die jeweiligen Distraktorlatenzen von der Dauer der vom Distraktor betroffenen Fixation sowie von der Dauer der zwei Fixationen davor und danach subtrahiert. Die Fixationen vor und nach der Distraktordarbietung wurden dabei als *baseline* angenommen. Aufgrund der Subtraktion der jeweiligen Latenzen war eine Vergleichbarkeit zwischen der Distraktorfixation und der *baseline* gewährleistet. Zunächst wurde überprüft, ob die Präsentation des Distraktors zu einer Verlängerung der Fixationsdauer führt. Die resultierende Analyse mit Hilfe eines t-Tests für gepaarte Stichproben bestätigt diese Annahme ($t_{(16)} = 13{,}89$; $p < 0.001$; einseitige Fragestellung). Zur Verdeutlichung dieser Daten ist die Fixationsdauerverlängerung, die durch die Präsentation des Distraktors ausgelöst wurde, für alle Distraktorlatenzen und -modalitäten in Abbildung 5-3 noch einmal dargestellt.

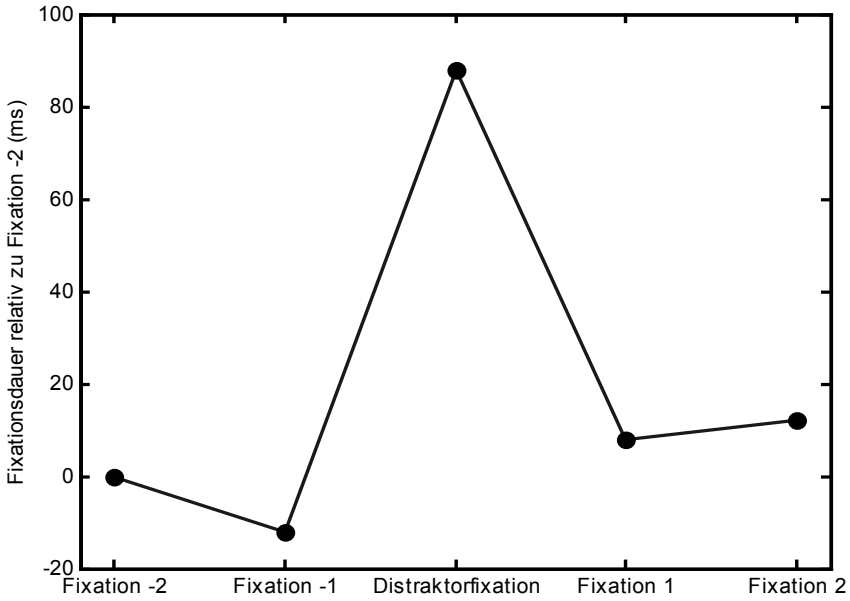


Abb. 5-3: Fixationsdauern in Abhängigkeit von der Distraktordarbietung für alle Versuchsbedingungen zusammengefasst relativ zu Fixation -2.

#### 5.2.3.1 Hypothese I: Distraktorlatenz – Effektlatenz

Um die Frage nach der Effektlatenz, für die unterschiedlichen Distraktorlatenzen beantworten zu können, wurden die beiden Häufigkeitsverteilungen (Fixationen mit Distraktor vs. Fixationen ohne Distraktor) auf signifikante Unterschiede geprüft. Dafür wurde ein Verfahren adaptiert, welches von Blair und Karniski (1993) vorgestellt wurde. Das Verfahren wurde ursprünglich entwickelt, um EEG Kurven auf signifikante Unterschiede zu prüfen. Bei der von Blair und Karniski vorgeschlagenen Methode handelt es sich um ein sehr exaktes und gleichzeitig sehr robustes Analyseverfahren: (1) Das Verfahren ist verteilungsfrei, d.h. es werden

keine Annahmen über zugrunde liegende Verteilungen vorausgesetzt, (2) Es erfordert keine Annahmen über zugrunde liegende Korrelationsstrukturen, (3) Es sind keine Schätzungen des Autokorrelationskoeffizienten notwendig und (4) Bei der damit durchgeführten Datenanalyse können die jeweiligen p-Werte für jeden einzelnen Messzeitpunkt (wenn erforderlich auch für jede einzelne Versuchsperson) berechnet werden (vgl. Blair & Karniski, 1993).

Bei der Anwendung des Verfahrens werden die einzelnen Messwerte (Experimental- vs. Kontrollbedingung) einer Versuchsperson zu einem bestimmten Zeitpunkt mit den Werten jeder anderen Versuchsperson vollständig permutiert (vgl. Tabelle 5-1). Für jede Kombination wird ein gepaarter t-Test durchgeführt. Anschließend wird geprüft, inwieweit sich der t-Wert der gemessenen Daten ($t_{real}$) von den t-Werten der hypothetischen Kombinationen ($t_{perm1}$ bis $t_{perm7}$) unterscheidet. Die Signifikanz wird also letztlich anhand der t-Werte-Verteilung bestimmt. Da folglich die Signifikanzprüfung nicht anhand von Schätzungen vorgenommen wird, sondern auf den jeweils tatsächlich ermittelten t-Werten basiert, handelt es sich um einen exakten Test. Mit Hilfe des Verfahrens werden eher konservative Entscheidungen getroffen.

Tabelle 5-1: Beispieldarstellung der Berechnungsmethode nach Blair und Karniski (1993) für ein Wertepaar (E=Experimentalbedingung, K=Kontrollbedingung).

| | E K | E K | E K | E K | E K | E K | E K | E K |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Vp 1 | e1 k1 | e1 k1 | e1 k1 | e1 k1 | k1 e1 | k1 e1 | k1 e1 | k1 e1 |
| Vp 2 | e2 k2 | e2 k2 | k2 e2 | k2 e2 | e2 k2 | e2 k2 | k2 e2 | k2 e2 |
| Vp 3 | e3 k3 | k3 e3 | e3 k3 | k3 e3 | e3 k3 | k3 e3 | e3 k3 | k3 e3 |
| ... | ... ... | ... ... | ... ... | ... ... | ... ... | ... ... | ... ... | ... ... |
| t-Werte | $t_{real}$ | $t_{perm1}$ | $t_{perm2}$ | $t_{perm3}$ | $t_{perm4}$ | $t_{perm5}$ | $t_{perm6}$ | $t_{perm7}$ |

Das beschriebene Verfahren beinhaltet einen Algorithmus, der vor allem bei steigender Probandenzahl sehr stark an Rechenintensität zunimmt (bei 16 Probanden müssen $2^{16}$ = 65536 gepaarte t-Tests pro Messzeitpunkt berechnet werden). Aufgrund dieser hohen Rechenintensität und da ein Effekt im Intervall von 80-120 ms nach Distraktordarbietung angenommen wird (vgl. 2.5.2), sollen im Folgenden die Analysen lediglich für den Zeitabschnitt von 0-240 ms nach Erscheinen des Distraktors durchgeführt werden. Die Fixationsdauern sind für diese Analysen in Kategorien mit Klassenbreiten von 12 ms zusammengefasst.

Abbildung 5-4 soll das oben erläuterte Verfahren nach Blair und Karniski (1993) zum besseren Verständnis noch ein wenig illustrieren. In Abbildung 5-4 (a) sind zunächst nur die Häufigkeitsverteilungen bei einer Distraktorlatenz von 50 ms für Fixationen mit Distraktor und Fixationen ohne Distraktor (=*baseline*) dargestellt. Der Zeitpunkt Fixationsdauer = 0 entspricht dem Zeitpunkt der Distraktordarbietung, bzw. bei der *baseline* der Differenz aus jeweiliger Fixationsdauer und zugehöriger Distraktorlatenz.

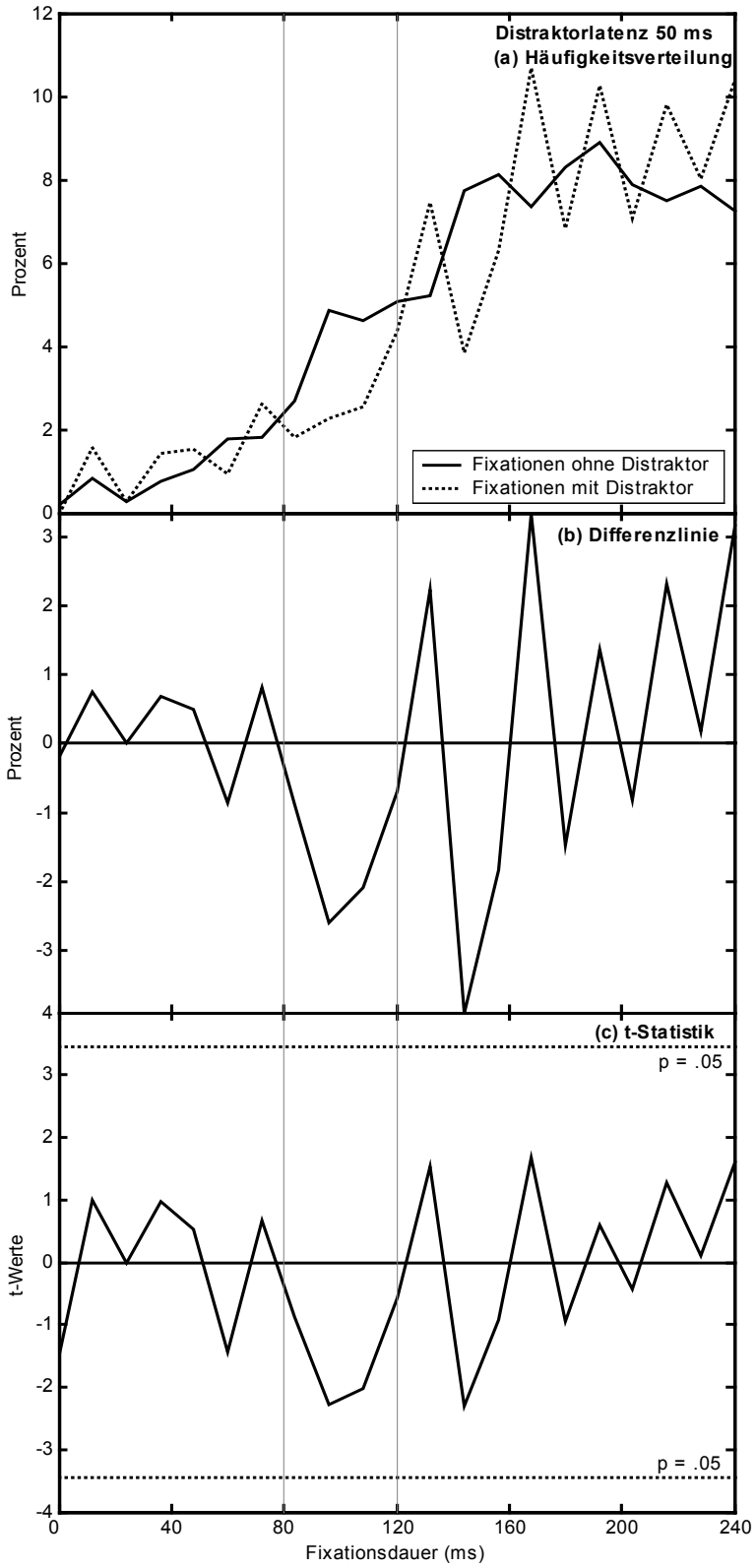


Abb. 5-4: (a) Häufigkeitsverteilungen der Fixationen mit bzw. ohne Distraktor; (b) Differenzkurve der beiden Häufigkeitsverteilungen; (c) grafische Darstellung der resultierenden t-Statistiken für die einzelnen Messzeitpunkte (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms).

Innerhalb der beiden senkrechten grauen Linien befindet sich das interessierende Intervall von 80-120 ms. Abbildung 5-4 (b) stellt die Differenzlinie dar, die aus der Subtraktion der *baseline*-Verteilung von der Fixationsdauerverteilung mit Distraktor resultiert. Abbildung 5-4 (c) repräsentiert das Ergebnis der Datenanalyse mit dem oben beschriebenen Verfahren. Der Kurvenverlauf stellt dabei die einzelnen t-Werte, die bei den gepaarten t-Tests erhalten wurden dar. Die durchbrochenen Linien repräsentieren das Signifikanzniveau von p = 0.05, d.h. t-Werte, die sich ober- bzw. unterhalb der durchbrochenen Linie befinden, entsprechen einem signifikanten Ergebnis. Für das oben dargestellte Beispiel (Distraktorlatenz 50 ms) konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Häufigkeitsverteilungen gefunden werden.

Abbildung 5-5 zeigt, dass sich für eine Distraktorlatenz von 100 ms im Intervall von 80-120 ms nach der Distraktordarbietung ein marginal signifikanter Unterschied zwischen den beiden Häufigkeitsverteilungen der Fixationsdauern nachweisen lässt.

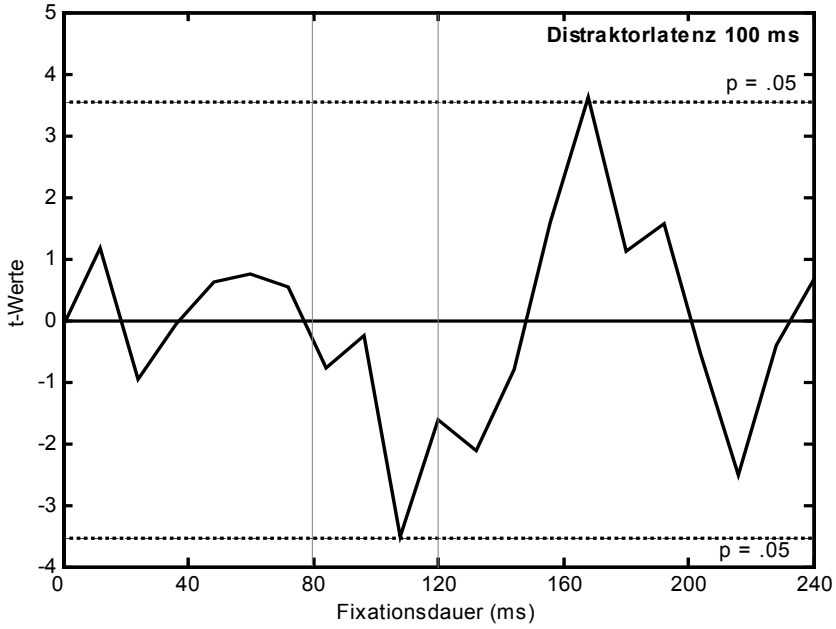


Abb. 5-5: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms).

Anhand von Abbildung 5-6 lässt sich für eine Distraktorlatenz von 150 ms im Intervall von 80-120 ms ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Häufigkeitsverteilungen der Fixationsdauern erkennen.

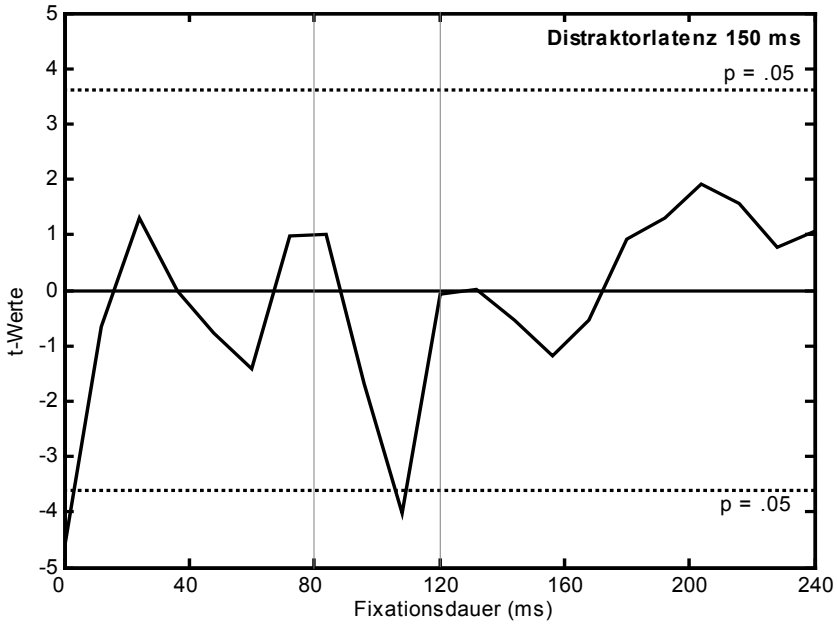


Abb. 5-6: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms).

Abbildung 5-7 zeigt, für eine Distraktorlatenz von 200 ms im Intervall von 80-120 ms nach der Darbietung des Distraktors, einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Häufigkeitsverteilungen der Fixationsdauern.

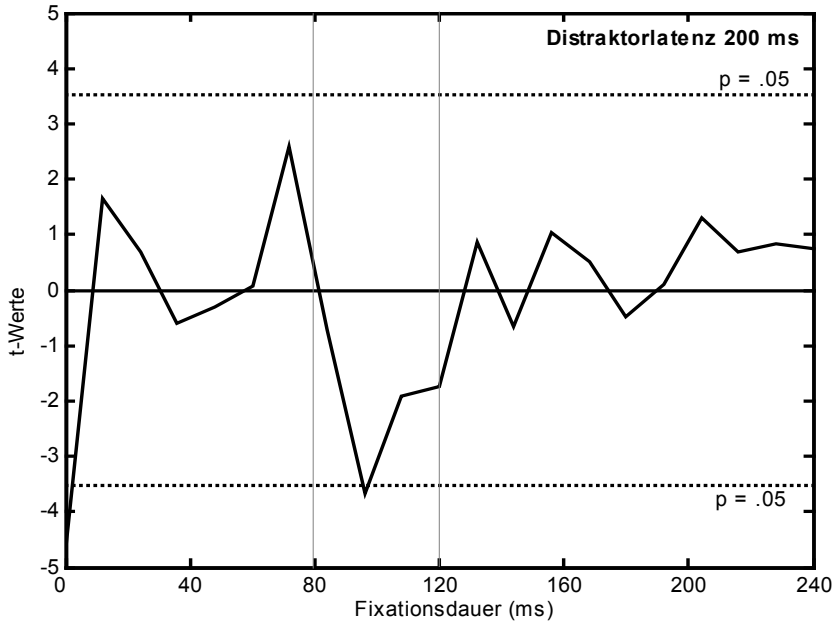


Abb. 5-7: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms).

Für eine Distraktorlatenz von 250 ms lässt sich im Intervall von 80-120 ms nach Distraktordarbietung kein signifikanter Unterschied zwischen den Häufigkeitsverteilungen der Fixationsdauern feststellen (vgl. Abb. 5-8).

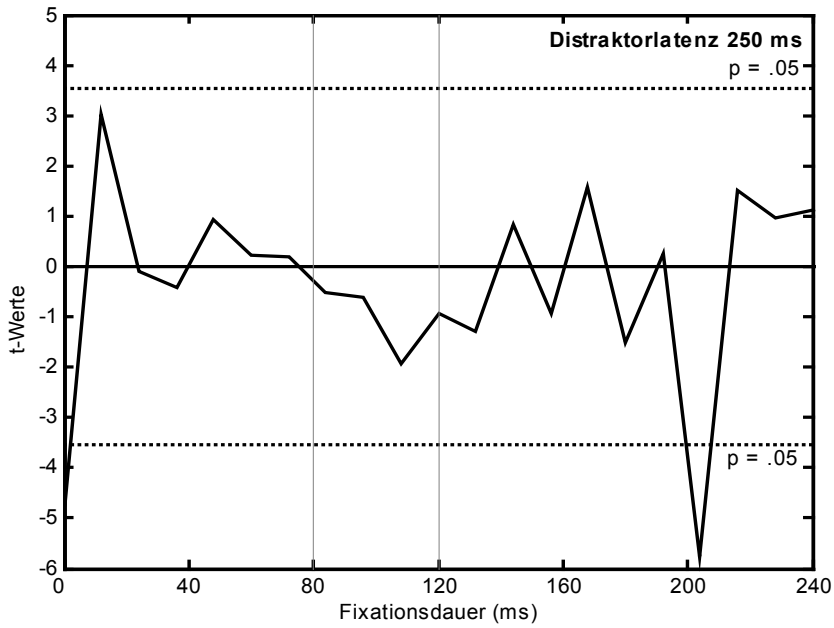


Abb. 5-8 Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms).

Abbildung 5-9 zeigt, für eine Distraktorlatenz von 300 ms, im Intervall von 80-120 ms nach der Darbietung des Distraktors einen signifikanten Unterschied zwischen den Häufigkeitsverteilungen der Fixationsdauern.

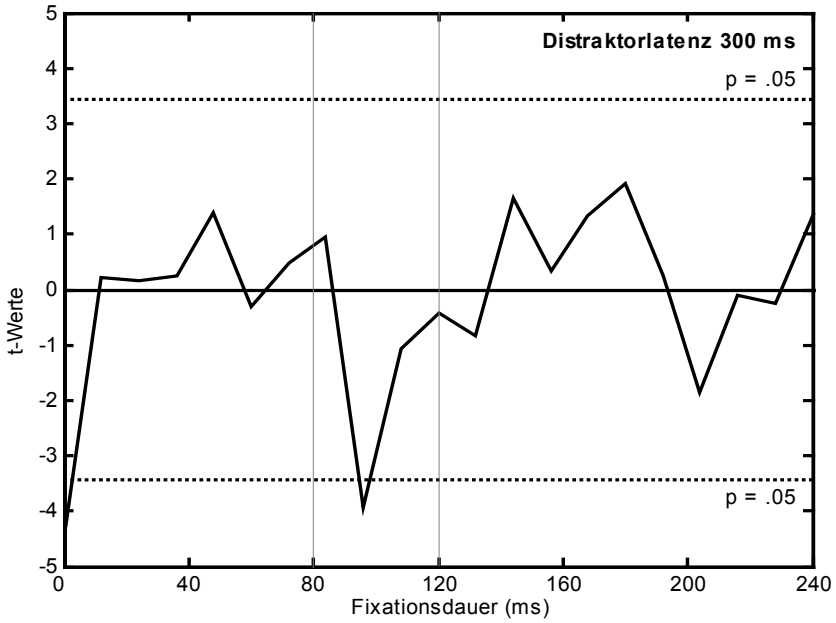


Abb. 5-9: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms).

Anhand von Abbildung 5-10 lässt sich für eine Distraktorlatenz von 350 ms im Intervall von 80-120 ms ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Häufigkeitsverteilungen der Fixationsdauern erkennen.

Abb. 5-10: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms).

Für fünf der sieben verschiedenen Distraktorlatenzen von 50-350 ms lässt sich feststellen, dass das Maximum der Effektlatenz innerhalb des vorher festgelegten Intervalls von 80-120 ms nachgewiesen werden kann. Für eine Distraktorlatenz von 50 ms bietet sich als Erklärung, dass, wie bereits unter 2.1.1 dargestellt, die Unterdrückung der visuellen Informationsverarbeitung das Ende einer Sakkade um ca. 50 ms überdauern kann (Diamond et al., 2000). Insofern besteht die Möglichkeit, dass bei einer so kurzen Latenz die Darbietung eines Distraktors nicht als visuelle Veränderung wahrgenommen wird, sondern parallel mit den visuellen Informationen am Blickort verarbeitet wird. Das Ergebnis bei der Latenz von 250 ms wird bei der Darstellung unter 5.2.3.1 etwas deutlicher. Unter Berücksichtigung dieser beiden Ausnahmen, lässt sich Hypothese I bestätigen.

#### 5.2.3.2 Hypothese II: Distraktorlatenz – Effektstärke

Um zu prüfen, ob die Effektstärke unabhängig von der Distraktorlatenz gleich bleibt, erfolgt eine Analyse der jeweiligen Differenzen der Fixationsdauer, von Fixationen mit vs. ohne Distraktor. Für die Berechnung der Differenzen wurde, wie bereits unter 5.2.3 dargestellt, der Wert der jeweiligen Distraktorlatenz von den vom Distraktor betroffenen und den angrenzenden Fixationen subtrahiert. Die Mediane der Fixationsdauern für die einzelnen Bedingungen, sowie die resultierenden Differenzen sind in Tabelle 5-2 dargestellt.

Tabelle 5-2: Mediane und Differenzen der Fixationsdauern (ms), Ergebnisse der t-Tests für jede Bedingung.

| | Median der Fixationsdauer (Fd) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Distraktor-latenz | mit Distraktor (mD) | ohne Distraktor (oD) | Differenz $Fd_{mD} - Fd_{oD}$ | t-Werte (df=16) | p (zweiseitige Fragestellung) |
| 50 | 238 | 206 | 32 | 5.215 | .000 |
| 100 | 188 | 168 | 20 | 3.235 | .005 |
| 150 | 182 | 142 | 40 | 4.626 | .000 |
| 200 | 138 | 116 | 22 | 3.082 | .007 |
| 250 | 128 | 118 | 10 | 0.501 | .623 |
| 300 | 144 | 104 | 40 | 2.396 | .029 |
| 350 | 150 | 118 | 32 | 1.804 | .090 |

Der Vergleich der Mediane für die unterschiedlichen Distraktorlatenzen verdeutlicht, dass es sich bei der Auswirkung auf die Fixationsdauer um einen robusten Effekt handelt. Die Überprüfung der Mediane mit Hilfe einer Varianzanalyse für Messwiederholungen zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen den Dauern der beiden Fixationsklassen ($F_{(1,16)} = 63{,}71$; $p < 0.001$). Die detaillierte Analyse mittels eines t-Test für gepaarte Stichproben für jede einzelne

Distraktorlatenz bestätigt den signifikanten Unterschied, mit Ausnahme der beiden Distraktorlatenzen 250 und 350 ms (vgl. Tabelle 5-2).

Um letztlich entscheiden zu können, ob die Distraktoren bei jeder der verwendeten Latenzen die gleiche Effektstärke haben, wurde aus den vier, an die vom Distraktor betroffene Fixation angrenzenden Fixationen der Mittelwert gebildet, unter der Voraussetzung, dass die Fixationsdauer mindestens der Distraktorlatenz entsprach. Bei einer Distraktorlatenz von 50 ms musste die Fixation eine Mindestdauer von 50 ms, bei einer Distraktorlatenz von 100 ms eine Mindestdauer von 100 ms usw. haben. Der Mittelwert der verbleibenden Fixationsdauern wurde von der aktuell vom Distraktor betroffenen Fixationsdauer subtrahiert. Diese Differenzbeträge stellen die Verteilung der Effektstärken für die jeweilige Distraktorlatenz dar. Da die Verteilungen der Differenzen, ebenso wie die Fixationsdauer, nicht der Normalverteilung entsprechen, sind in Tabelle 5-3 die Mediane, sowie das 25. und das 75. Perzentil zur Charakterisierung dargestellt.

Tabelle 5-3: Median, 25. und 75. Perzentil der Differenzverteilungen (ms), sowie Anzahl der Fälle.

| Distraktorlatenz | Median | 25. Perzentil | 75. Perzentil | N |
|---|---|---|---|---|
| 50 | -11.00 | -105.00 | 93.50 | 501 |
| 100 | -5.00 | -101.50 | 103.00 | 501 |
| 150 | 5.50 | -87.00 | 103.58 | 474 |
| 200 | -.67 | -99.50 | 116.75 | 444 |
| 250 | 3.00 | -92.00 | 125.00 | 418 |
| 300 | 19.00 | -84.50 | 178.00 | 346 |
| 350 | 16.00 | -89.00 | 157.00 | 270 |

Die Überprüfung der Differenzverteilungen mittels einer Varianzanalyse mit Messwiederholungen zeigt keine signifikanten Unterschiede ($F_{(6,96)} = 1{,}41$; $p = 0.22$), so dass davon ausgegangen werden kann, dass sich die Effektstärken nicht unterscheiden, somit also unabhängig von der Distraktorlatenz gleich bleiben. Hypothese II lässt sich demnach anhand der Daten des durchgeführten Experiments bestätigen.

#### 5.2.3.3 Hypothese III: Distraktormodalität – Effektlatenz

Um überprüfen zu können, inwieweit die Effektlatenz unabhängig von der Modalität des Distraktors im Intervall von 80-120 ms nachweisbar ist, wird der Einfluss visueller und akustischer Distraktoren mit dem unter 5.2.3.1 beschriebenen Verfahren getrennt analysiert.

Bei der Analyse der Häufigkeitsverteilungen für alle Latenzen bei der Darbietung visueller Distraktoren zeigt sich eine signifikante Abweichung im Vergleich zur *baseline* Verteilung (vgl. Abb. 5-11) in dem vorher festgelegten Intervall von 80-120 ms.

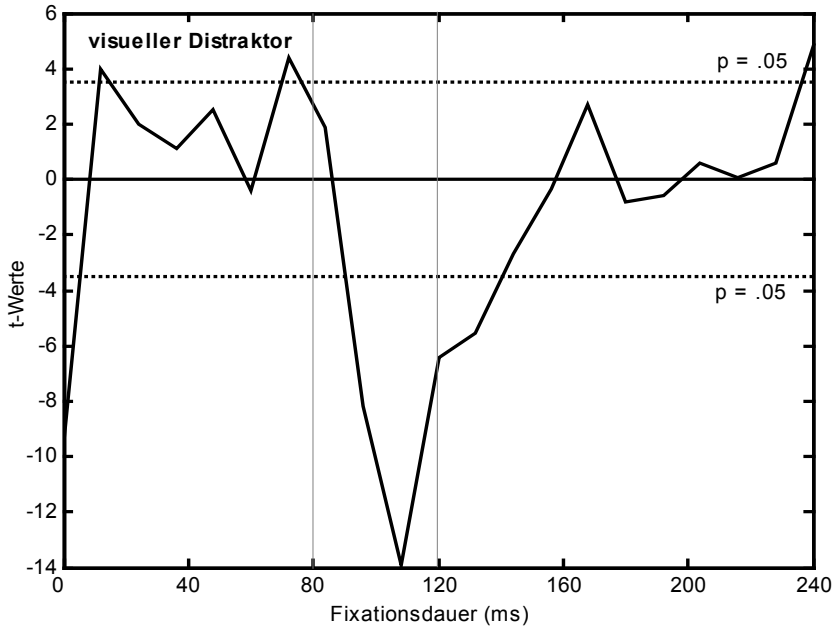


Abb. 5-11: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests für visuelle Distraktoren vs. *baseline* für alle Distraktorlatenzen (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms).

Bei der Analyse der Häufigkeitsverteilungen für alle Latenzen bei der Darbietung akustischer Distraktoren im Vergleich zur *baseline* zeigt sich ebenfalls eine Abweichung (vgl. Abb. 5-12) in dem vorher festgelegten Intervall von 80-120 ms. Hinsichtlich der Signifikanzprüfung lässt sich dabei feststellen, dass es sich hierbei lediglich um ein marginal signifikantes Ergebnis handelt, da der kritische Wert bei -3,56 liegt, die maximale Abweichung im bezeichneten Intervall aber lediglich -3,24 beträgt.

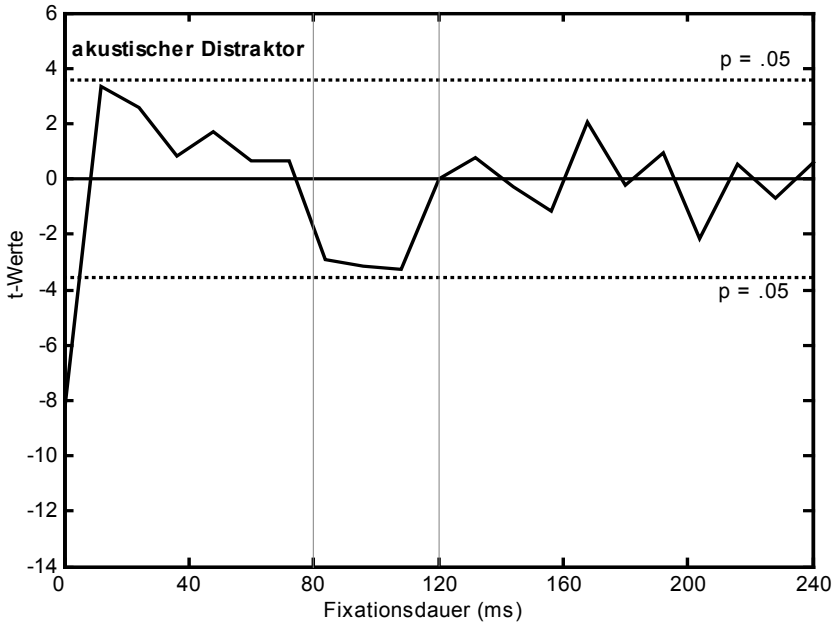


Abb. 5-12: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests für akustische Distraktoren vs. *baseline* für alle Distraktorlatenzen (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms).

Beim Vergleich der beiden Kurvenverläufe für die jeweiligen Distraktormodalitäten lässt sich für die Effektlatenz die Hypothese bestätigen, dass der Effekt im Intervall von 80-120 ms nach Erscheinen der Distraktoren nachweisbar ist. Hierbei muss allerdings berücksichtigt werden, dass der Effekt bei visuellen Distraktoren geringfügig zeitlich verzögert eintritt, d.h. erst bei ca. 90 ms einsetzt und sich bis zu ca. 140 ms erstreckt. Prinzipiell kann dennoch das bezeichnete Intervall als das Intervall mit der maximalen Ausprägung des Effektes angenommen werden.

#### 5.2.3.4 Hypothese IV: Distraktormodalität – Effektstärke

In einem ersten Schritt wurde eine Varianzanalyse für Messwiederholungen durchgeführt. Dabei wurden analog zu der für Hypothese II durchgeführten Analyse die Fixationsdauern mit vs. ohne Distraktor entsprechend nach Modalitäten und Distraktorlatenzen verglichen. Dafür wurden wiederum von den Fixationsdauern die jeweiligen Latenzen subtrahiert. Es zeigte sich ein signifikanter Unterschied für die Bedingung mit Distraktor vs. ohne Distraktor ($F_{(1,16)} = 54{,}54$; $p < 0.001$). Außerdem konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den Modalitäten ($F_{(1,16)} = 10{,}35$; $p = 0.005$) und ein signifikanter Unterschied zwischen den Latenzen ($F_{(6,96)} = 29{,}01$; $p < 0.001$) nachgewiesen werden. Für eine detaillierte Analyse der Ergebnisse sind in Tabelle 5-4 die Mediane der verschiedenen Bedingungen, die zugehörigen Differenzen, t-Werte sowie die Signifikanzen der einzelnen t-Tests für gepaarte Stichproben dargestellt.

Tabelle 5-4: Mediane und Differenzen der Fixationsdauern (ms) für visuelle und akustische Distraktoren bei den verschiedenen Distraktorlatenzen und zugehörige Ergebnisse der t-Tests.

| | Distraktor-latenz | Median der Fixationsdauer | | Differenz $Fd_{mD}$ - $Fd_{oD}$ | t-Werte (df=16) | p (einseitige Frage-stellung) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | mit Distraktor ($Fd_{mD}$) | ohne Distraktor ($Fd_{oD}$) | | | |
| visuelle Bedingung | 50 | 250 | 206 | 44 | 4.114 | .001 |
| | 100 | 200 | 168 | 32 | 4.701 | .000 |
| | 150 | 202 | 138 | 64 | 3.946 | .001 |
| | 200 | 152 | 120 | 32 | 3.112 | .004 |
| | 250 | 150 | 118 | 32 | 2.061 | .028 |
| | 300 | 188 | 108 | 80 | 5.890 | .000 |
| | 350 | 166 | 106 | 60 | 2.807 | .007 |
| akustische Bedingung | 50 | 218 | 210 | 8 | 0.671 | .256 |
| | 100 | 180 | 168 | 12 | 2.019 | .031 |
| | 150 | 158 | 144 | 14 | 2.349 | .016 |
| | 200 | 130 | 112 | 18 | 1.431 | .086 |
| | 250 | 118 | 118 | 0 | 0.629 | .269 |
| | 300 | 116 | 100 | 16 | -0.024 | .491 |
| | 350 | 146 | 130 | 16 | -0.666 | .258 |

Ausgehend von den für Hypothese II ermittelten Ergebnissen, wurde bei den paarweisen t-Tests einseitig getestet, da angenommen werden kann, dass die Darbietung der Distraktoren unter den jeweiligen Bedingungen stets zu einer Verlängerung der Fixationen führt. Für visuelle Distraktoren zeigt sich hierbei, dass für alle Distraktorlatenzen eine signifikante Verlängerung nachweisbar ist (vgl. Tabelle 5-4). Für akustische Distraktoren lässt sich mittels der paarweisen Vergleiche lediglich für Distraktorlatenzen von 100 und 150 ms ein Signifikanznachweis erbringen. Abbildung 5-13 verdeutlicht noch einmal die gefundenen Verlängerungen der Fixationen, getrennt nach Modalitäten und Latenz. Für die Darstellung wurde jeweils der Wert der *baseline* von den entsprechenden Fixationen abgezogen, um somit lediglich den Unterschied abbilden zu können. Dabei wird deutlich, dass der akustische Distraktor bei einer Latenz von 250 ms offenbar keine Beeinflussung der Fixationsdauer bewirkt, ein Ergebnis, dass die unter 5.2.3.1 dargestellten Befunde ein wenig genauer spezifiziert. Für das Ausbleiben des Effektes bei dieser Latenz kann anhand der vorliegenden Daten keine Erklärung geliefert werden.

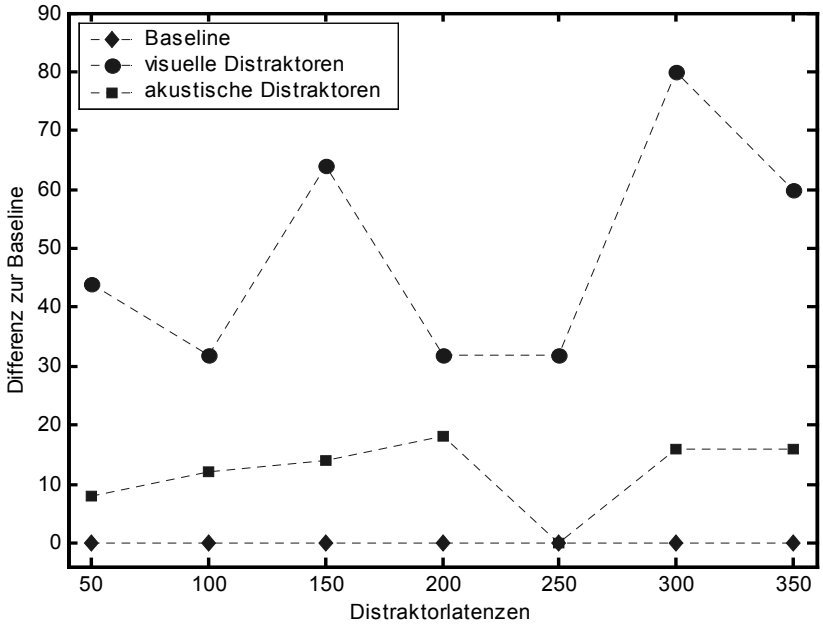


Abb. 5-13: Differenzen der Fixationsdauer zur *baseline* für die jeweiligen Distraktorlatenzen getrennt nach Modalitäten.

Die dargestellten Ergebnisse zeigen, dass sich die beiden Distraktormodalitäten hinsichtlich der Effektstärke deutlich unterscheiden. Während visuelle Distraktoren zu einer Verlängerung von mindestens 30 ms führen, scheinen akustische Distraktoren hinsichtlich ihrer hemmenden Wirkung offensichtlich weniger effektiv (maximal 18 ms). Anderseits zeigt sich, dass offensichtlich bei akustischen Distraktoren (ausgenommen Distraktorlatenz 250 ms) eine relativ konstante Verlängerung messbar ist. Für visuelle Distraktoren lassen sich hingegen starke Schwankungen der Effektstärke verzeichnen. Eine mögliche Ursache hierfür könnte darin begründet sein, dass akustische Distraktoren stets mit der gleichen Intensität (900 Hz, 60 dB) und bezüglich der räumlichen Positionierung auf festen Koordinaten dargeboten wurden. Visuelle Distraktoren hingegen sind deutlichen Intensitätsschwankungen unterworfen, da in Abhängigkeit vom jeweiligen Fixationsort eine bestimmte Bildregion farblich invertiert wurde. Durch diese Methode ergibt sich beispielsweise vor einem schwarzen Bildhintergrund ein stark kontrastierender weißer Distraktor, während vor einem Bildhintergrund mit verschieden Farbtönen der Kontrast des Distraktors weniger deutlich in Erscheinung tritt. In einer aktuellen Studie analysierten Stampe und Reingold (2002) verschiedene Eigenschaften der visuellen Veränderung (Distraktor). Dabei konnten sie vor allem nachweisen, dass höhere räumliche Frequenzen und größere Leuchtdichteunterschiede eine Verringerung der Latenz des Effektes bewirken.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Ergebnisse, aus der unter 2.5.2 beschriebenen Untersuchung, bestätigt werden konnten: Akustische Distraktoren führen zu einer geringeren Verlängerung der Fixationsdauer, als visuell darge-

botene Distraktoren. Mit Ausnahme der Latenz von 250 ms lässt sich die Hypothese IV somit für akustische Distraktoren bestätigen, während für visuelle Distraktoren vor allem bei Latenzen von 150 und 300 ms deutliche Unterschiede für die Effektstärke gezeigt wurden. Bezüglich der visuellen Distraktoren lässt sich Hypothese IV somit nur teilweise bestätigen.

### 5.2.4 Diskussion

Das Ziel dieser ersten Untersuchung bestand in der systematischen Analyse des Einflusses verschiedener Darbietungslatenzen von visuellen und akustischen Distraktoren auf das Verhalten der Fixationsdauer. Dabei lässt sich festhalten, dass es sich bei dem beschriebenen Effekt in Bezug auf das zeitliche Auftreten um ein robustes Phänomen handelt. Für fünf der sieben verwendeten Darbietungslatenzen zeigte sich die maximale Ausprägung des Effektes in dem Intervall von 80 – 120 ms nach der Distraktordarbietung. Unter Berücksichtigung dieser schnellen Reaktionen auf Reize, stehen die Ergebnisse im Einklang mit den Vorstellungen von Findlay und Walker (1999) sowie Reingold und Stampe (2000), die den Ursprung des Effektes in subkortikalen Regionen (insbesondere SC) vermuten. Der Erklärungsansatz von McConkie et al. (1992) hingegen lässt sich mit den erhobenen Daten nicht vereinbaren, da der Effekt zu verschiedenen Zeitpunkten innerhalb von Fixationen nachgewiesen werden konnte. Offensichtlich bewirken verschiedene kognitive Verarbeitungsprozesse während einer Fixation keinerlei Modulation des Effektes.

Im deutlichen Widerspruch zu den existierenden Ansätzen von Findlay und Walker (1999) und Reingold und Stampe (2000) stehen allerdings die robusten Verlängerungen von Fixationen, die durch akustische Distraktoren hervorgerufen wurden. Diese Intermodalität des Phänomens spricht gegen eine Interpretation als optomotorischer Reflex und verlangt nach einer breiter angelegten Deutung. Die Ergebnisse dieser Untersuchung erlauben noch keine Rückschlüsse, inwieweit das Konzept der OR als mögliche Erklärung hilfreich erscheint, bestätigen allerdings, dass gegenwärtige Ansätze das Phänomen nicht ausreichend erklären können. Vor dem Hintergrund der durchgeführten Untersuchung entstand zunächst die Frage nach dem Einfluss der Permanenz der Raumlokalisation: Die verwendeten akustischen Signale hatten stets dieselbe räumliche Lage bezüglich der medialen Ebene des Kopfes, während optische blickortkontingent erschienen, d.h. auf stets den gleichen Regionen des retinalen Feldes, aber auf immer neuen Bildpositionen. In Experiment 2 sollten deshalb zunächst Fragen in Bezug auf die Lokalisation visueller Distraktoren untersucht werden.

## 5.3 Experiment 2: Unterschiedliche Darbietungsvarianten und verschiedene Latenzen

Ausgehend von den Ergebnissen der ersten Untersuchung, fand die Erklärung des Distraktoreffektes im Kontext der OR eine weitere Unterstützung, aufgrund des robusten Erscheinens und der erneut bestätigten Intermodalität. Im Kontext der folgenden Untersuchung galt es vor allem zu untersuchen, inwieweit sich für den beschriebenen Effekt eine Habituation nachweisen lässt. Gleichzeitig sollte der Frage nachgegangen werden, ob die Permanenz der Raumlokalisation bei der Habituation eine Rolle spielt. Bei diesem Experiment wurden nur visuelle Distraktoren dargeboten, welche entweder relativ zum aktuellen Blickort oder stets auf festen Bildkoordinaten erschienen. Dabei sollte geklärt werden, ob die Variation der Darbietungsart unterschiedlich auf den Distraktoreffekt wirkt, und ob sich eine Verringerung des Distraktoreffektes über die Zeit nachweisen lässt. Falls eine Verringerung zu verzeichnen ist, stellt sich die Frage, unter welchen Bedingungen.

Als **unabhängige Variablen** wurden variiert:

| | |
|---|---|
| Distraktorlatenz: | Zeitpunkt der Distraktordarbietung nach Fixationsbeginn. Es wurden zwei verschiedene Distraktorlatenzen verwendet – 100 und 150 ms. |
| Darbietungsart: | Die Darbietungsart der visuellen Distraktoren, relativ zum Fixationsort. Es wurden zwei verschiedene Darbietungsmöglichkeiten realisiert. Der Distraktor erschien entweder relativ zum Fixationsort oder auf einer festen Bildposition. |

Als **abhängige Variablen** galten die beiden, bereits unter 5.2 beschriebenen Parameter Effektlatenz und Effektgröße.

### 5.3.1 Hypothesen

| | |
|---|---|
| H I Darbietungsart: | Die Variation der Darbietungsart hat keinen Einfluss auf die Effektlatenz. |
| H II Darbietungsart: | Die Variation der Darbietungsart beeinflusst die Effektstärke. |
| H III Darbietungsart: | Die beiden verschiedenen Darbietungsarten und Distraktorlatenzen haben unterschiedliche Einflüsse auf die Effektstärke über die Zeit hinweg. |

## 5.3.2 Methode

### 5.3.2.1 Versuchspersonen

An dem Experiment nahmen 8 Versuchspersonen teil. Das mittlere Alter der Stichprobe betrug 27,63 Jahre (SD = 3,85; 22-33 Jahre; 3 Frauen und 5 Männer). Bei den Versuchsteilnehmern handelte es sich größtenteils um Studenten der Fachrichtung Psychologie sowie um Bekannte aus dem Freundeskreis des Versuchsleiters. Alle Probanden waren normalsichtig bzw. trugen Sehhilfen, die eine Normalsichtigkeit gewährleisteten, um die Aufgaben des Versuchs bewältigen zu können.

### 5.3.2.2 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau entsprach den Angaben unter 5.1.1.2.

### 5.3.2.3 Stimulusmaterial

Den Probanden wurden acht verschiedene Bilder bei einer Auflösung von 800 x 600 Pixel dargeboten (vgl. Abb. 5-1). Während der Bildbetrachtung wurden visuelle Distraktoren entweder mit einer Latenz von 100 oder 150 ms nach Fixationsbeginn präsentiert. Die visuellen Distraktoren erschienen entweder räumlich blickkontingent, immer 50 Pixel links des Fixationsortes, oder auf festen Bildkoordinaten (x = 500, y = 350), also in der rechten unteren Hälfte des Bildes. Die Implementierung des visuellen Distraktors erfolgte für jede Bedingung durch die Invertierung der Farben der entsprechenden Bildposition.

### 5.3.2.4 Versuchsablauf

Der Versuch bestand aus vier aufeinanderfolgenden Blöcken, wobei die Reihenfolge über die Versuchspersonen ausbalanciert wurde. Innerhalb eines Blockes erschienen in zufälliger Abfolge 4 der 16 Bilder. Pro Bild erschienen 40 Distraktoren, in Abhängigkeit des jeweiligen Blockes entweder 100 oder 150 ms nach Fixationsbeginn und entweder relativ zum Fixationsort oder auf festen Bildkoordinaten. Anhand der bereits beschriebenen Routine (vgl. 5.2.2.4) wurde durchschnittlich jede siebente Fixation für die Distraktordarbietung ausgewählt. Dabei galt ebenfalls für den Fall, dass die Fixation bereits vor dem Erreichen der geforderten Latenz beendet wurde, keine Distraktordarbietung stattfand und auf die nächste Fixation mit der entsprechenden Länge gewartet wurde, bis die Realisierung des Distraktors möglich war. Im Anschluss an die Betrachtung jedes einzelnen Bildes wurden den Probanden 5 Fragen zu den jeweiligen Bildinhalten präsentiert, die mit „ja“ oder „nein“ zu beantworten waren.

### 5.3.3 Ergebnisse

In die Datenanalyse wurden Fixationsdauern im Bereich von 40-1500 ms einbezogen, d.h. 1,36% der erhobenen Daten wurden ausgeschlossen, da sie sich außerhalb dieses Intervalls befanden.

Für einen ersten Vergleich wurden die jeweiligen Distraktorlatenzen (100 und 150 ms) von der betroffenen Fixation, sowie den zwei Fixationen davor und danach abgezogen. Die beiden Fixationen vor und nach der Distraktordarbietung wurden dabei als *baseline* angenommen. Dadurch war eine Vergleichbarkeit gewährleistet, bei der überprüft wurde, ob generell die Präsentation der Distraktoren zu einer Verlängerung der Fixationsdauer führte. Die resultierende Analyse für die Mediane der einzelnen Blöcke mit Hilfe einer Varianzanalyse für Messwiederholungen bestätigt diese Annahme: es zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen der Fixationsdauer der *baseline* und der Dauer der vom Distraktor betroffenen Fixationen bei Distraktoren, die auf stets den gleichen Bildkoordinaten erschienen ($F_{(1,7)} = 54{,}67$; $p < 0.001$) und bei Distraktoren, die immer relativ zum aktuellen Fixationsort dargeboten wurden ($F_{(1,7)} = 104{,}82$; $p < 0.001$). Die Fixationsdauerverlängerung, die durch die Präsentation der Distraktoren ausgelöst wurde, ist in Abbildung 5-14 noch einmal dargestellt.

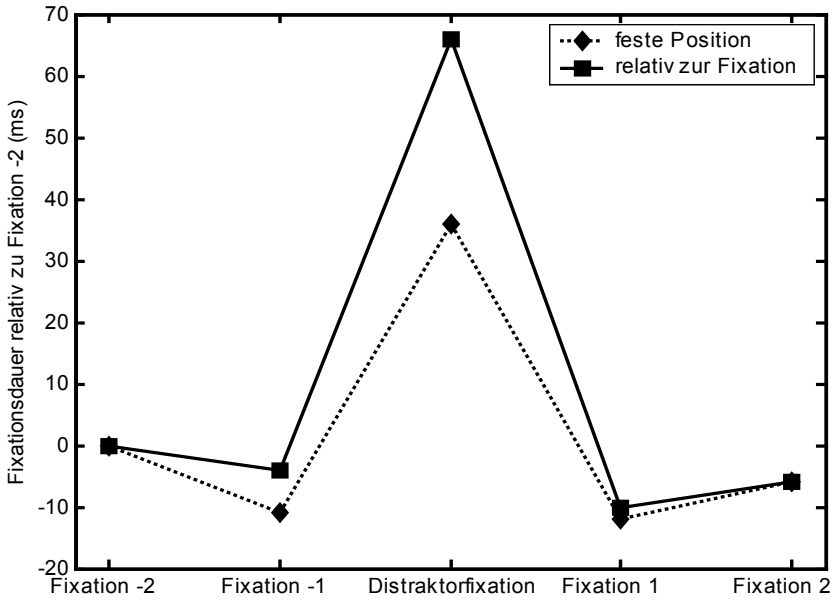


Abb. 5-14: Fixationsdauern in Abhängigkeit von der Distraktordarbietung relativ zu Fixation -2.

#### 5.3.3.1 Hypothese I: Darbietungsart – Effektlatenz

Zur Überprüfung der Hypothese, ob die Effektlatenz von der Art der Darbietung des Distraktors beeinflusst wird, wurde das bereits unter 5.2.3.1 beschriebene Verfahren von Blair und Karniski (1993) angewendet.

Abbildung 5-15 zeigt, dass für beide Darbietungsarten des Distraktors die Effektlatenz zu fast gleichen Zeitpunkten den kritischen Wert überschreitet (relativ zum Fixationsort: 112 ms; feste Bildposition 116 ms). Hierbei gilt anzumerken, dass bei der Bedingung, dass der Distraktor relativ zum Fixationsort dargeboten wird, sich das signifikante Intervall über einen Zeitbereich von ca. 16 ms erstreckt, während bei Distraktoren auf fester Bildposition dieses Intervall lediglich ca. 8 ms beträgt. Im Vergleich zu den Ergebnissen von Experiment 1 zeigt sich, dass der Effekt zeitlich verzögert auftritt. Nichtsdestotrotz kann hiermit gezeigt werden, dass sich die Effektlatenz bei den beiden verwendeten Darbietungsarten nicht unterscheidet. Folglich konnte Hypothese I anhand der vorliegenden Daten bestätigt werden.

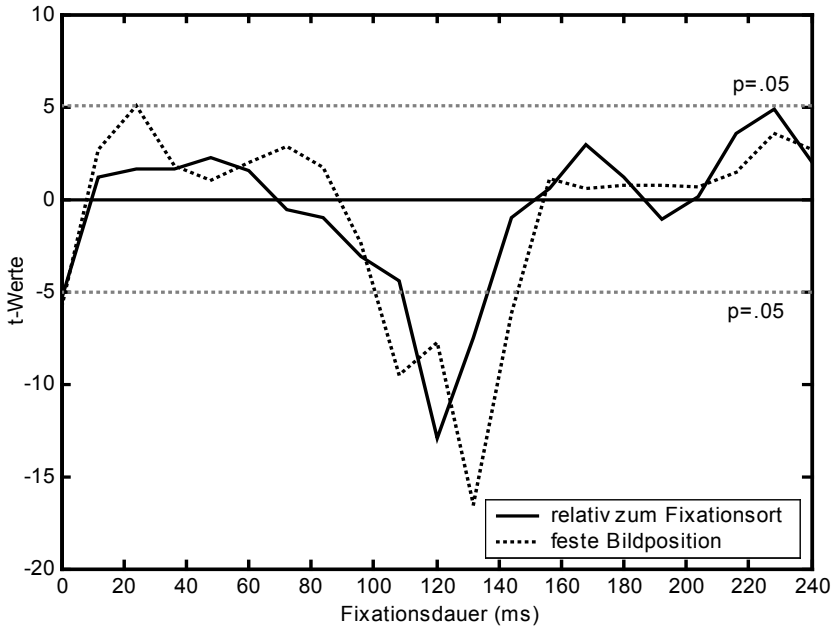


Abb. 5-15: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests, jeweils für die experimentellen Bedingungen vs. *baseline* (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms).

#### 5.3.3.2 Hypothese II: Darbietungsart – Effektstärke

Im Zusammenhang mit den beiden verschiedenen Arten der Distraktordarbietung sollte vor allem die Frage geklärt werden, inwieweit eine der beiden Varianten effektiver ist, die jeweils betroffene Fixation zu verlängern. Abbildung 5-16 stellt die Differenzlinien der Häufigkeitsverteilungen der jeweils betroffenen Fixationen

relativ zur *baseline* dar. Für die Darstellung wurden jeweils die Häufigkeitsverteilungen der Fixationsdauern beider experimenteller Bedingungen von der Häufigkeitsverteilung der *baseline* subtrahiert. Dabei wird deutlich, dass bei relativ zum Fixationsort erscheinenden Distraktoren eine stärkere Abweichung zur *baseline* zu verzeichnen ist. Offenbar können mit dieser Darbietungsart Fixationen wirkungsvoller beeinflusst werden. Zur Überprüfung dieser Hypothese wurden die Häufigkeitsverteilungen der Fixationsdauern der beiden experimentellen Bedingungen mit dem Analyseverfahren von Blair und Karniski (1993) miteinander verglichen.

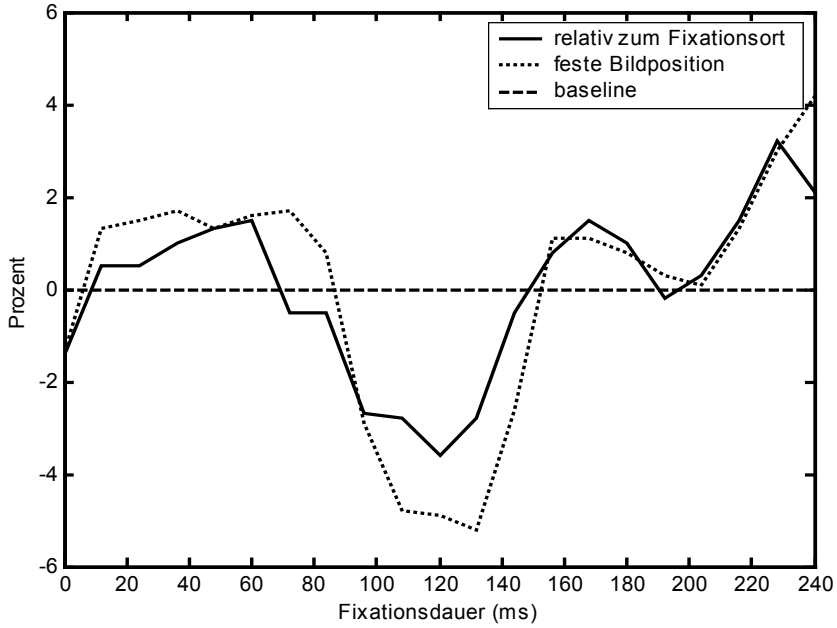


Abb. 5-16: Differenzlinien der Fixationsdauern der experimentellen Bedingungen relativ zur *baseline* (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms).

Anhand von Abbildung 5-17 wird deutlich, dass sich die beiden Häufigkeitsverteilungen der Fixationsdauern beider experimenteller Bedingungen signifikant voneinander unterscheiden. Hypothese II lässt sich somit anhand der vorliegenden Daten bestätigen.

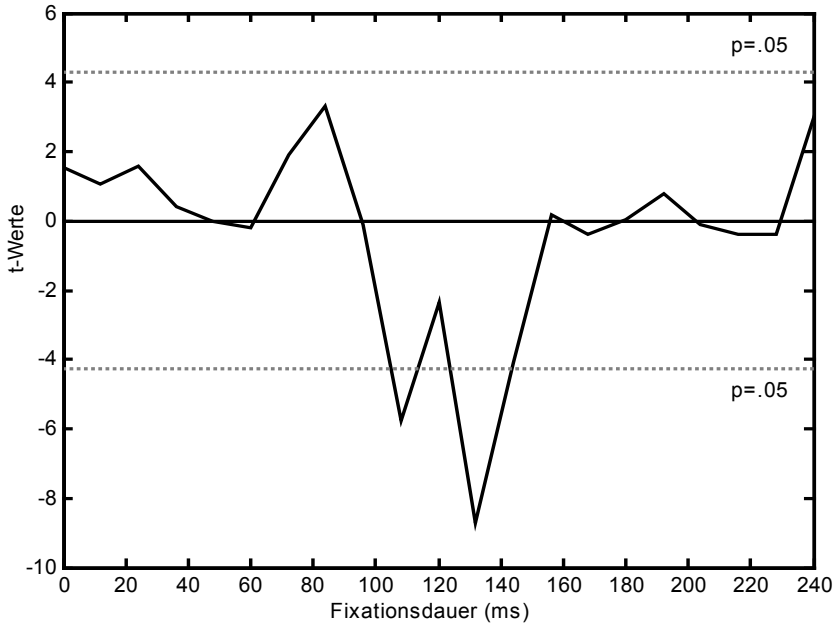


Abb. 5-17: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests für Distraktoren auf festen Positionen vs. relativ zum Fixationsort (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms).

#### 5.3.3.3 Hypothese III: Darbietungsart und Darbietungslatenz– Effektstärke über Zeitverlauf

Eine weitere Fragestellung, der mittels dieser Untersuchung nachgegangen werden sollte, verweist auf die Abnahme des beschriebenen Effektes i.S. einer Habituation. Dabei sollten die beiden Einflussfaktoren Darbietungsart und Darbietungslatenz untersucht werden. Bezüglich des Zeitverlaufs sollte dabei geprüft werden, inwieweit sich Unterschiede hinsichtlich der Darbietungsart (feste Position vs. relativ zum Fixationsort) und der Darbietungslatenz (100 ms vs. 150 ms) finden lassen. Hierbei wurden zwei Zeitverläufe analysiert:

1. über die Bilder pro Block

2. über die Distraktoren pro Bild

**zu 1)** In Abbildung 5-18 sind die Differenzen der vom Distraktor betroffenen Fixationen minus der zugehörigen *baseline* dargestellt. Für die *baseline* wurden jeweils die beiden der Distraktorfixation vorausgehenden und die beiden nachfolgenden Fixationen ausgewählt. Der Mittelwert dieser 4 Fixationsdauern wurde von der Distraktorfixation subtrahiert. Dargestellt sind jeweils die Differenzen entsprechend der betrachteten Bildfolge – links für Distraktoren relativ zum Fixationsort, rechts für Distraktoren auf festen Bildpositionen. Für die Bedingung, dass die Distraktoren relativ zum Fixationsort gezeigt wurden, lässt sich eine Ab-

nahme über die Bilder hinweg erkennen. Für diesen Trend lässt sich allerdings keine Signifikanz nachweisen ($F_{(3,7)} = 0{,}72$; $p = 0.551$), was einerseits durch recht große interindividuelle Schwankungen und andererseits durch den geringen Stichprobenumfang (N=8) zu begründen ist. Wie bereits bei den oben dargestellten Ergebnissen zeigt sich, dass Distraktoren auf fester Bildposition offensichtlich einen geringeren Effekt hervorrufen. Für die Bilder 2, 3 und 4 lässt sich dabei ebenfalls eine geringfügige Abnahme erkennen, die statistische Überprüfung zeigt, dass es sich hierbei um keinen signifikanten Unterschied handelt ($F_{(3,7)} = 0{,}38$; $p = 0.764$).

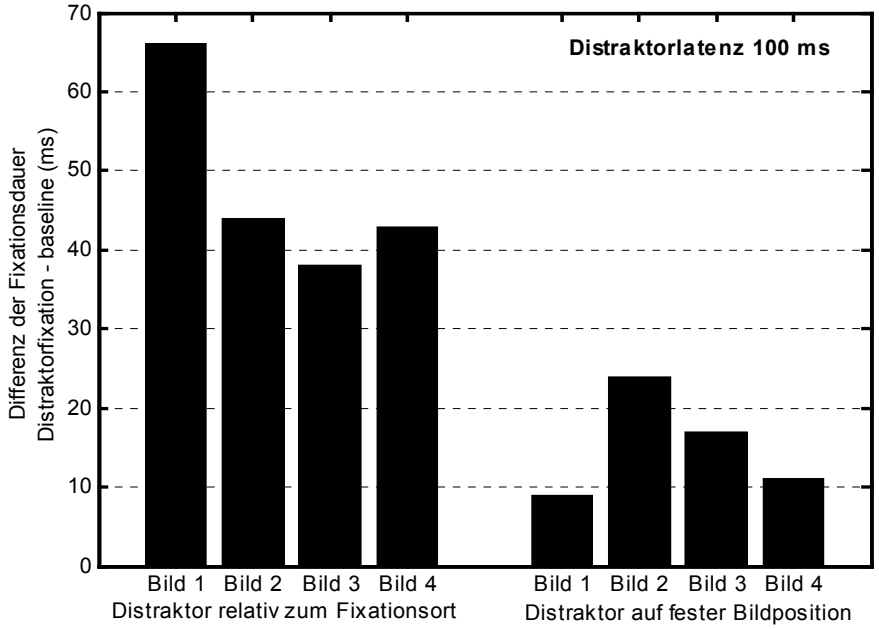


Abb. 5-18: Fixationsdauerdifferenzen getrennt nach den Bedingungen für die einzelnen Bilder.

Bei einer Distraktorlatenz von 150 ms zeigt sich für beide Arten der Distraktordarbietung keine Abnahme des Effekts im Sinne einer Habituation (vgl. Abb. 5-19).

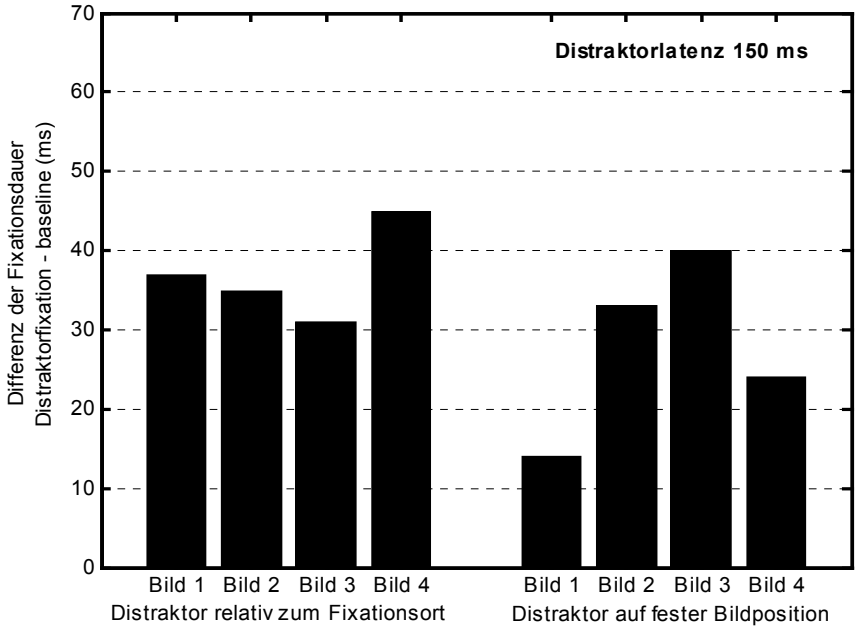


Abb. 5-19: Fixationsdauerdifferenzen getrennt nach den Bedingungen für die einzelnen Bilder.

**zu 2)** In einem weiteren Schritt, wurden die vierzig pro Bild dargebotenen Distraktoren zu 4 Gruppen á 10 Distraktoren entsprechend dem zeitlichen Erscheinen zusammengefasst. Analog zu der Beschreibung für Abbildung 5-18 wurden die Fixationsdauerdifferenzen für die jeweiligen Gruppen ermittelt. Die Ergebnisse für die Distraktorlatenz von 100 ms sind in Abbildung 5-20 dargestellt. Unter der Bedingung, dass die Distraktoren auf retinal fixierten Koordinaten erschienen, lässt sich dabei bis zum dreißigsten Distraktor eine Abnahme des Effektes erkennen. Für die letzten 10 Distraktoren hingegen ist eine deutliche Zunahme zu erkennen. Eine mögliche Erklärung dafür bietet die recht lange Betrachtungsdauer der einzelnen Bilder: Offensichtlich ist die Verarbeitung des Bildinhaltes kurz vor bzw. nach Darbietung des dreißigsten Distraktors abgeschlossen, so dass die Ablenkung durch das Erscheinen der Distraktoren wieder stärker in den Vordergrund tritt. Diese Interpretation lässt sich auch mit den Angaben der Probanden in Einklang bringen, bei denen durchweg die Betrachtungsdauer als sehr lang empfunden wurde (pro Bild ca. 3 min). Bei der Analyse der Daten mittels Varianzanalyse für Messwiederholung lässt sich für diese Abnahme ebenfalls keine Signifikanz nachweisen ($F_{(3,7)} = 2{,}30$; $p = 0.107$). Für Distraktoren auf fester Bildposition ergibt sich eine Abnahme des Effekts vom zehnten zum vierzigsten Distraktor hin, allerdings ist der Verlauf sehr unregelmäßig, so dass auf eine Interpretation an dieser Stelle verzichtet werden soll.

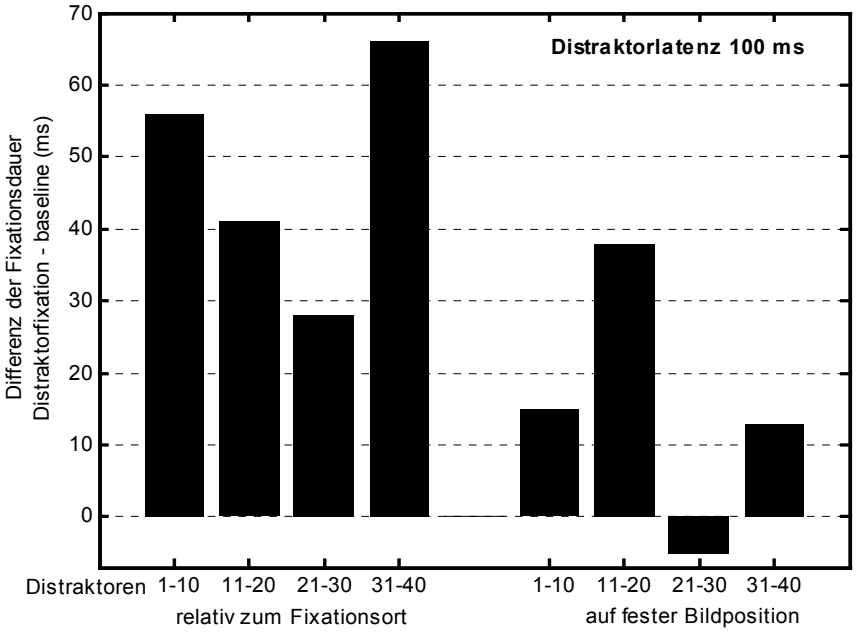


Abb. 5-20: Fixationsdauerdifferenzen getrennt nach den Bedingungen für einzelne Distraktorgruppen pro Bild.

Abbildung 5-21 zeigt die Ergebnisse für die Distraktorlatenz von 150 ms, auch hier lässt sich bei beiden Bedingungen keine systematische Abnahme des Effektes im Sinne einer Habituation finden.

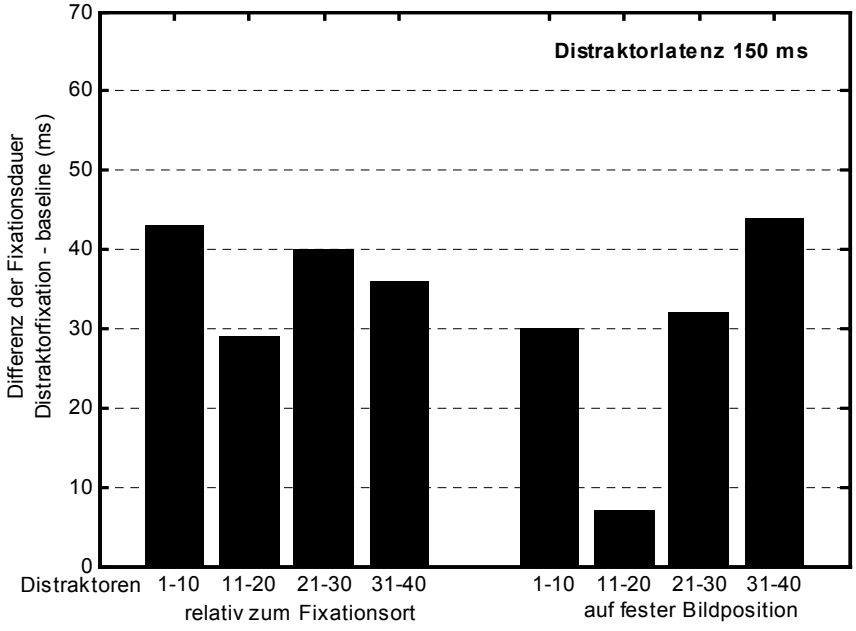


Abb. 5-21: Fixationsdauerdifferenzen getrennt nach den Bedingungen für einzelne Distraktorgruppen pro Bild.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sowohl die Darbietungsart der Distraktoren, als auch die Darbietungslatenz zu unterschiedlichen Ausprägungen der Habituation führt. Es konnte gezeigt werden, dass für beide Betrachtungsweisen, zeitlicher Verlauf über die Bilder und zeitlicher Verlauf über die Distraktoren pro Bild hinweg, eine Abnahme des Effektes eher bei Distraktoren relativ zum Fixationsort zu finden ist. Darüber hinaus lässt sich auch ein deutlicher Einfluss der Latenz der Darbietung nachweisen, bei Latenzen von 150 ms ist – mit Ausnahme einer geringfügigen Tendenz bei retinal fixierten Distraktoren über die Bilder hinweg – keinerlei Effektverringerung messbar. Die deutlichste Abnahme im Sinne einer Habituation konnte für eine Darbietungslatenz bei retinal fixierten Distraktoren gezeigt werden. Offensichtlich haben sowohl die Zeit der Darbietung nach Fixationsbeginn, als auch das jeweilige Bezugssystem, zu dem die Distraktoren dargeboten werden verschiedene Auswirkungen auf die Habituation des Effektes.

Für Hypothese III lässt sich somit festhalten, dass sowohl die Art der Distraktordarbietung als auch die Distraktorlatenz den zeitlichen Verlauf beeinflussen. Während für Distraktoren auf festen Bildpositionen keine systematische Veränderung über die Zeit nachweisbar ist, zeigt sich bei retinal fixierten Distraktoren ein Trend zur Abnahme lediglich bei einer Latenz von 100 ms.

### 5.3.4 Diskussion

Die Ergebnisse der dargestellten Untersuchung unterstützen erneut die Aussage, dass es sich bei dem beschriebenen Effekt um ein robustes Phänomen handelt: Sowohl für visuelle Distraktoren auf festen Bildpositionen als auch für visuelle Störreize auf stets den gleichen Regionen des retinalen Feldes konnte eine deutliche Verlängerung der Fixationsdauer nachgewiesen werden. Dieser Befund gilt vor allem bezüglich des Intervalls, in dem sich die maximale Ausprägung des Effektes befindet. Obwohl im Unterschied zu Experiment 1 die Effektlatenz um ca. 10-20 ms verzögert erscheint, wirken beide Arten der Darbietung von Distraktoren in sehr ähnlicher Weise. Hinsichtlich der Stärke der Hemmung von Sakkaden erweisen sich Störreize auf stets den gleichen Regionen des retinalen Feldes effektiver, wobei sich hier möglicherweise eine recht einfache Ursache finden lässt: Während retinal fixierte Distraktoren stets in etwa der gleichen Intensität wahrgenommen werden müssen, ist die Wirkung von Störungen auf festen Bildkoordinaten in entscheidender Weise vom aktuellen Blickort und somit vom Abstand zum jeweils dargebotenen Distraktor abhängig. Möglicherweise sind darauf auch die Unterschiede in der Effektstärke zurückzuführen. Bei umgekehrter Betrachtungsweise könnte diese Argumentation die geringere Auswirkung akustischer Distraktoren erklären (vgl. 5.2.3.4).

Das eigentliche Ziel der Untersuchung bestand darin, zu untersuchen, inwieweit die Permanenz der Störreize – ob raumkonstant oder retinal fixiert – zu unterschiedlichen Reaktionen hinsichtlich des zeitlichen Verlaufs des Auftretens der Fixationsdauerverlängerungen führt. Dabei konnten deutliche Unterschiede gefunden werden: Während Störungen, die stets auf gleichen Positionen des retinalen Feldes erscheinen, offensichtlich über die Zeit hinweg zu einer geringeren Hemmung von Sakkaden führen (also habituieren), konnte eine solche systematische Verringerung bei Distraktoren auf konstanten Bildpositionen nicht gefunden werden. Dieses Ergebnis ist vor allem vor dem Hintergrund weiterführender Untersuchungen zur Intermodalität des Effektes im Rahmen der Interpretation einer OR von entscheidender Bedeutung. Während sich visuelle Distraktoren mit Hilfe des Paradigmas blickkontingenter Experimente relativ einfach retinal fixiert darbieten lassen, ist diese Darbietungsmöglichkeit für die auditive Modalität – zumindest zum gegenwärtigen Zeitpunkt – nur sehr schwer zu realisieren.

Ein weiteres wichtiges Ergebnis der dargestellten Untersuchung bezieht sich auf den Zusammenhang zwischen der Habituation und den verwendeten Distraktorlatenzen. Während sich für retinal fixierte Distraktoren bei einer Latenz von 100 ms sowohl zwischen den Bildern als auch innerhalb der Bilder (bei Vernachlässigung der jeweils letzten 10 Distraktoren) eine Verringerung im Sinne einer Habituation abzeichnet, scheint ein solcher Zusammenhang bei der gleichen Darbietungsart und einer Latenz von 150 ms nicht zu existieren. Eine mögliche Erklärung kann hierbei der Ansatz von McConkie et al. (1992) liefern: Offensichtlich bleibt der eigentliche Distraktoreffekt von höheren kognitiven Verarbeitungsprozessen unbeeinflusst, bei der systematischen Abnahme über die Zeit hinweg könnten aber eben diese Prozesse zur Modulation beitragen. Während möglicherweise eine Darbietung 100 ms nach Fixationsbeginn frühe Verarbeitungsprozesse beeinflusst, sind bei einer Darbietungslatenz von 150 ms die von McConkie et al. beschriebenen späteren Verarbeitungsprozesse betroffen.

Die durchgeführte Untersuchung diente letztlich der Klärung einiger methodischer Fragen, deren Beantwortung für die Durchführung des Experimentes 3 von entscheidender Bedeutung waren. Vor diesem Hintergrund ist auch der geringe Stichprobenumfang (N=8) zu bewerten.

## 5.4 Experiment 3: Unterschiedliche Modalitäten und EEG-Ableitung

Das Ziel der Untersuchung bestand in einer detaillierten Analyse der Habituationseffekte, die in Experiment 2 gefunden wurden. Entscheidend dafür war die Ergänzung der Aufzeichnung von Blickbewegungen durch die parallele Registrierung von EKP's. Wie bereits unter 2.6 beschrieben, gilt die Abnahme der

N1 Komponente als zuverlässiger Indikator für die Habituation einer Orientierungsreaktion. Bislang existieren keinerlei Befunde über den Nachweis einer Habituation anhand von Blickbewegungsparametern, zumindest konnte in der Literatur kein Hinweis darauf gefunden werden. Mit Hilfe dieses Experiments sollte erstmals untersucht werden, ob Übereinstimmungen dieser beiden Parameter hinsichtlich einer Habituation nachweisbar sind. Um die mögliche Intermodalität auch für die Habituation zu überprüfen, wurden in Experiment 3 visuelle und akustische Distraktoren dargeboten.

Als **unabhängige Variable** gilt:

| | |
|---|---|
| Distraktormodalität: | Es wurden visuelle und akustische Distraktoren dargeboten. |

Als **abhängige Variablen** hinsichtlich der Blickbewegungsregistrierung gelten die beiden unter 5.2. beschriebenen Parameter Effektlatenz und Effektgröße. Dabei soll vor allem überprüft werden, ob sich im Verlauf des Experiments eine Verringerung der Effektstärke nachweisen lässt. Falls eine solche Abnahme gemessen werden kann, soll das als Maß der Habituation gelten.

Als **abhängige Variable** bzgl. der Registrierung der EKP's wird die Amplitude der N1 Komponente ausgewertet. Eine Abnahme der Amplitude dieser Komponente über die Zeit hinweg wird als Kriterium der Habituation angesehen.

### 5.4.1 Hypothesen

| | |
|---|---|
| H I Habituation: | Die Effektlatenz verändert sich nicht über die Zeit hinweg. |
| H II Habituation: | Die Effektstärke nimmt über die Zeit hinweg ab (für visuelle und akustische Bedingung). |
| H III Habituation: | Die Amplitude der N1 Komponente wird über die Zeit hinweg geringer. |

### 5.4.2 Methode

#### 5.4.2.1 Versuchspersonen

An dem Experiment nahmen 14 Versuchspersonen teil. Aufgrund technischer Probleme bei der Aufzeichnung der Blickbewegungsdaten wurden die Datensätze von 2 Probanden von der Datenanalyse ausgeschlossen. Das mittlere Alter der resultierenden Stichprobe von 12 Versuchspersonen betrug 22,00 Jahre (SD = 3,60; 22-31 Jahre; 6 Frauen und 6 Männer). Bei den Versuchsteilnehmern

handelte es sich größtenteils um Studenten der Fachrichtung Psychologie sowie um Studenten anderer Fachrichtungen der TU Dresden. Alle Probanden waren normalsichtig bzw. trugen Sehhilfen, die eine Normalsichtigkeit gewährleisteten, um die Aufgaben des Versuchs bewältigen zu können.

#### 5.4.2.2 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau entsprach den Angaben unter 5.1.1.2, zusätzlich wurde noch, parallel zur Blickbewegungsregistrierung, das Elektroenzephalogramm (EEG) aufgezeichnet. Das EEG wurde über 16 Elektroden, die an einer elastischen Haube (*Electro-Cap International*) angebracht waren, bipolar abgeleitet. Die Elektroden waren im 10-20 System angeordnet, wobei folgende Positionen abgeleitet wurden: fp1, fp2, f3, f4, f7, f8, t5, t6, cz, p3, p4, p7, p8, pz, o1 und o2 (vgl. Abb. 5-22).

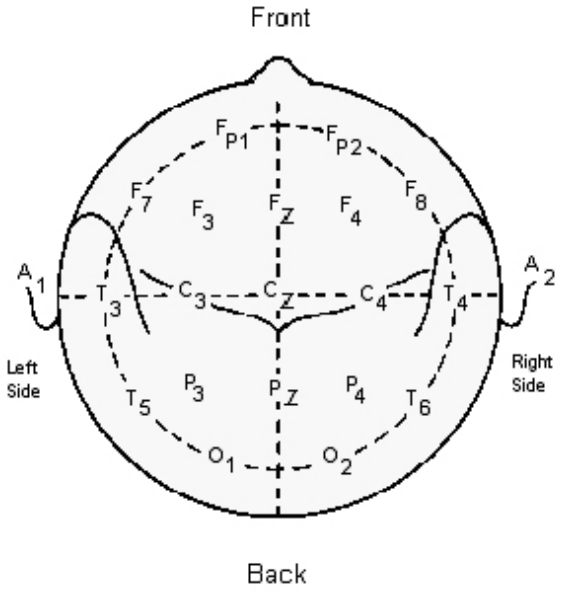


Abb. 5-22. Die Ableitpositionen des 10-20 Systems.

Es wurden zwei Elektroden als Referenz an den Ohrläppchen angebracht. Für die Ableitung wurden Zinn-Elektroden verwendet, als Referenzposition diente CZ. Das EEG wurde mit einem Madaus-System aufgezeichnet, die Samplerate betrug 166 Hz mit einer Auflösung von 488ηV pro Bit. Die Registrierung erfolgte mit einem Bandpassfilter von 0,33 Hz und einer Grenzfrequenz von 70 Hz. Zusätzlich zu den EEG-Daten wurden die Marker für die Distraktordarbietung des Darbietungsrechners in die Datei geschrieben, um somit die Analyse der EKP's zu ermöglichen.

#### 5.4.2.3 Stimulusmaterial

Den Probanden wurden insgesamt 44 verschiedene Bilder bei einer Auflösung von 800 x 600 Pixel dargeboten (vgl. Abb. 5-1). Während der Bildbetrachtung erschienen visuelle Distraktoren mit einer Latenz von 100 ms nach Fixationsbeginn. Visuelle Distraktoren wurden für diese Untersuchung durch eine Veränderung des Bildrahmens realisiert. Dabei wechselte ein, das komplette Bild umgebender 1 cm breiter, Rahmen von schwarz zu weiß. Diese Modifizierung der visuellen Distraktoren, im Vergleich zu vorangehenden Experimenten wurde vorgenommen, um eine bessere Vergleichbarkeit mit den akustischen Distraktoren zu gewährleisten. Durch die Veränderung des Rahmens fand die Präsentation der visuellen Distraktoren, analog zu den akustischen, ohne Bezug zum aktuellen Fixationsort statt. Der akustische Distraktor, durch einen 1000 Hz Sinus-Ton mit einer Lautstärke von ca. 60 dB realisiert, wurde über PC-Lautsprecher links und rechts des Monitors dargeboten.

#### 5.4.2.4 Versuchsablauf

Der Versuch bestand aus vier aufeinanderfolgenden Blöcken, wobei die Reihenfolge über die Versuchspersonen ausbalanciert wurde. Innerhalb eines Blockes betrachteten die Probanden in zufälliger Abfolge 11 der 44 Bilder. Pro Bild wurden, in Abhängigkeit vom jeweiligen Block, entweder 20 akustische oder 20 visuelle Distraktoren dargeboten. Während der Betrachtung des fünften Bildes wurde die Präsentation lediglich simuliert, um eine *baseline* für die EKP's zu ermitteln. Anhand der bereits beschriebenen Routine (vgl. 5.2.2.4) wurde durchschnittlich jede siebente Fixation für die Distraktordarbietung ausgewählt. Dabei galt ebenfalls für den Fall, dass die Fixation bereits vor dem Erreichen der geforderten Latenz beendet wurde, keine Distraktordarbietung stattfand und auf die nächste Fixation mit der entsprechenden Länge gewartet wurde, bis die Realisierung des Distraktors möglich war. Im Anschluss an die Betrachtung jedes einzelnen Bildes wurden den Probanden 3 Fragen zu den jeweiligen Bildinhalten präsentiert, die mit „ja" oder „nein" zu beantworten waren.

### 5.4.3 Ergebnisse

In die Datenanalyse wurden Fixationsdauern im Bereich von 40-1500 ms einbezogen, d.h. 1,58% der erhobenen Daten wurden ausgeschlossen, da sie sich außerhalb dieses Intervalls befanden.

Für einen ersten Vergleich wurde die Distraktorlatenz bei der betroffenen und zwei Fixationen davor und danach abgezogen. Die beiden Fixationen vor und nach der Distraktordarbietung wurden dabei als *baseline* angenommen. Dadurch war eine

Vergleichbarkeit gewährleistet, so dass überprüft werden konnte, ob generell die Präsentation der Distraktoren zu einer Verlängerung der Fixationsdauer führte. Die resultierende Analyse der Mediane der einzelnen Blöcke mit Hilfe einer Varianzanalyse für Messwiederholungen bestätigte diese Annahme: es zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen der Fixationsdauer der *baseline* und der Dauer von, vom Distraktor betroffenen Fixationen bei visuellen Distraktoren ($F_{(1,11)} = 209{,}73$; $p < 0.001$) und bei akustischen Distraktoren ($F_{(1,11)} = 33{,}43$; $p < 0.001$). Die Fixationsdauerverlängerung, die durch die Präsentation des Distraktors ausgelöst wurde, ist in Abbildung 5-23 noch einmal getrennt nach Modalitäten und den jeweiligen Versuchsabschnitten dargestellt.

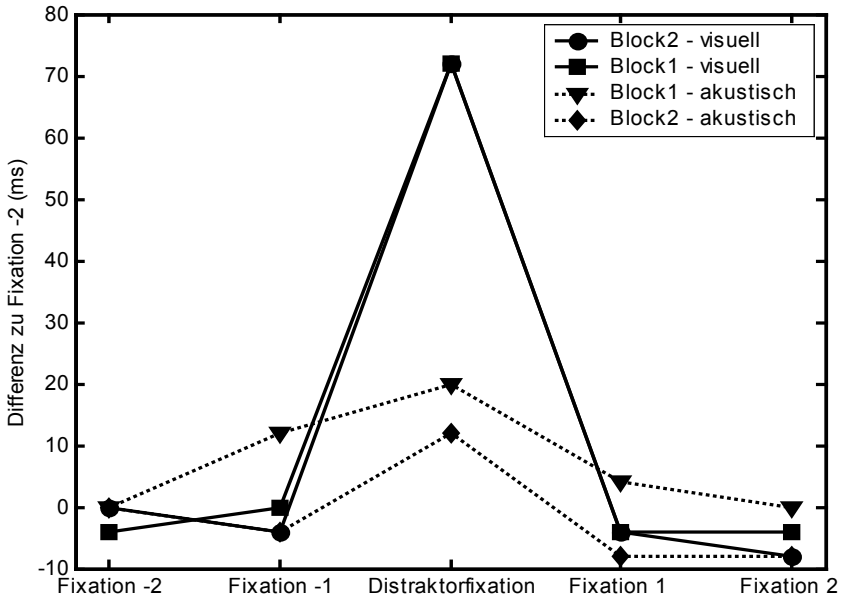


Abb. 5-23: Fixationsdauern für die unterschiedlichen Modalitäten pro Block relativ zu Fixation -2.

### 5.4.3.1 Hypothese I: Habituation – Effektlatenz

Die Prüfung von Hypothese I erfolgte mit dem unter 5.2.3.1 beschriebenen Verfahren von Blair und Karniski (1993). Dabei wurde ebenfalls davon ausgegangen, dass der Distraktoreffekt mit einer Effektlatenz von 80-120 ms nach Distraktordarbietung nachweisbar ist. Für die Auswertung wird das Intervall von 0-240 ms nach Erscheinen des Distraktors untersucht.

Es wurden drei verschiedene Zeiteffekte überprüft:

(a) Vergleich Block 1 vs. Block 2,

(b) Bild 1 und 2 vs. Bild 10 und 11,

(c) Distraktor 1 bis 5 pro Bild vs. Distraktor 16 bis 20 pro Bild.

**zu (a)** Die Probanden absolvierten vier Versuchsblöcke in Folge, zwei davon mit visuellen Distraktoren und zwei mit akustischen Distraktoren. Für die Analyse wurden, aufgeteilt nach Modalität, jeweils der erste mit dem zweiten Block verglichen.

Für die visuellen Distraktoren lässt sich zwischen dem ersten und dem zweiten Block kein Unterschied in Bezug auf die Effektlatenz feststellen (vgl. Abb. 5-24).

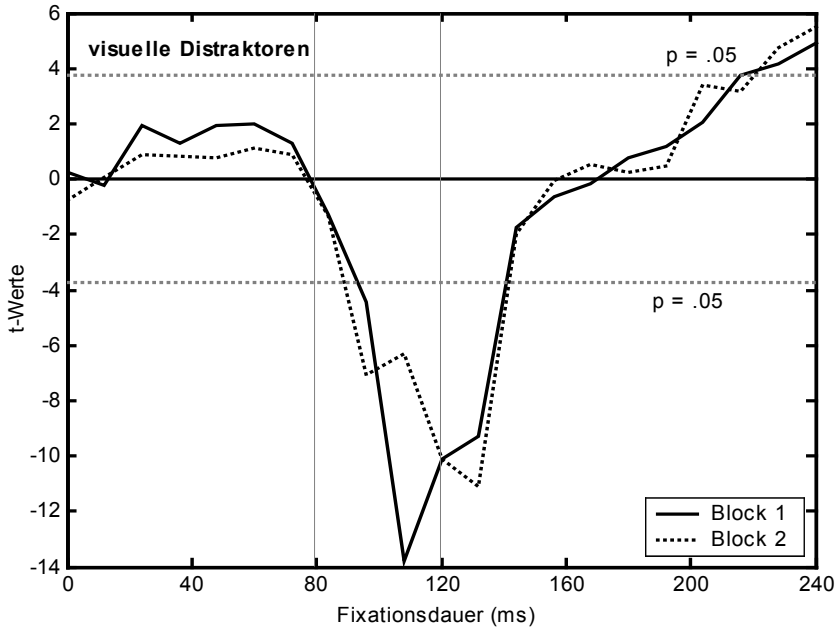


Abb. 5-24: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests bei Block und Block 2 im Vergleich zur *baseline* (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms).

Aus Abbildung 5-25 wird deutlich, dass bei Block 2 eine Verschiebung des Effektes um ca. 10 ms auftritt. Demnach ist die Effektlatenz bei akustischen Distraktoren bei Block 2 geringfügig zeitlich verzögert.

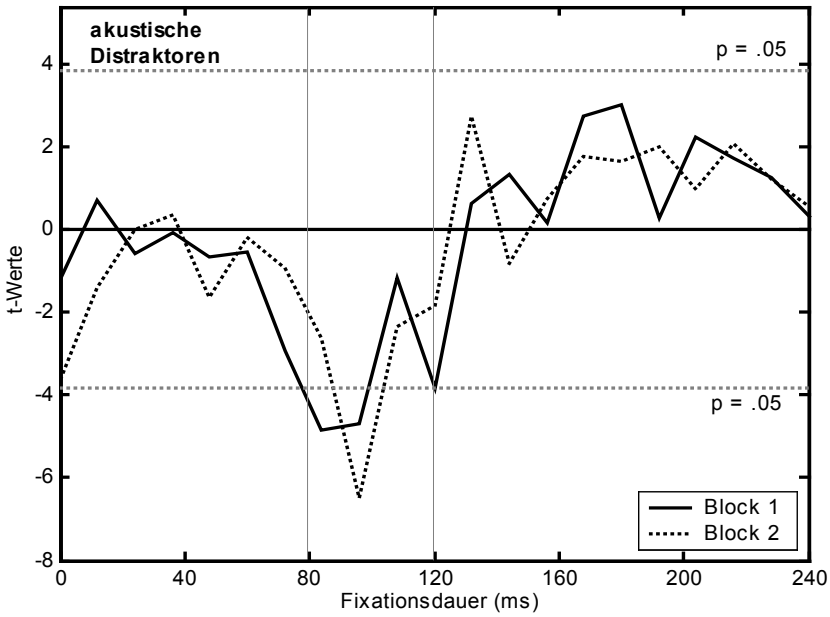


Abb. 5-25: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests bei Block und Block 2 im Vergleich zur *baseline* (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms).

**zu (b)** Zur Überprüfung der Effektlatenz auf Zeiteffekte wurden getrennt nach den Distraktormodalitäten jeweils die ersten beiden und die letzten beiden Bilder verglichen.

Aus den Abbildungen 5-26 und 5-27 wird deutlich, dass sich die Effektlatenz zwischen den ersten beiden Bildern und den letzten beiden Bildern nicht verändert. Das gilt für die Präsentation visueller und akustischer Distraktoren.

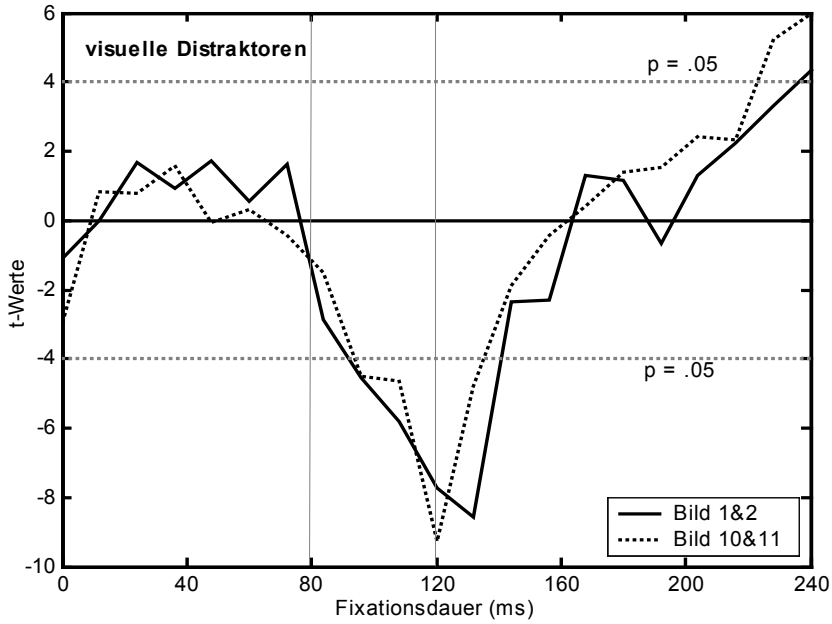


Abb. 5-26: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests für Bild 1 und 2 sowie für Bild 10 und 11 (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms).

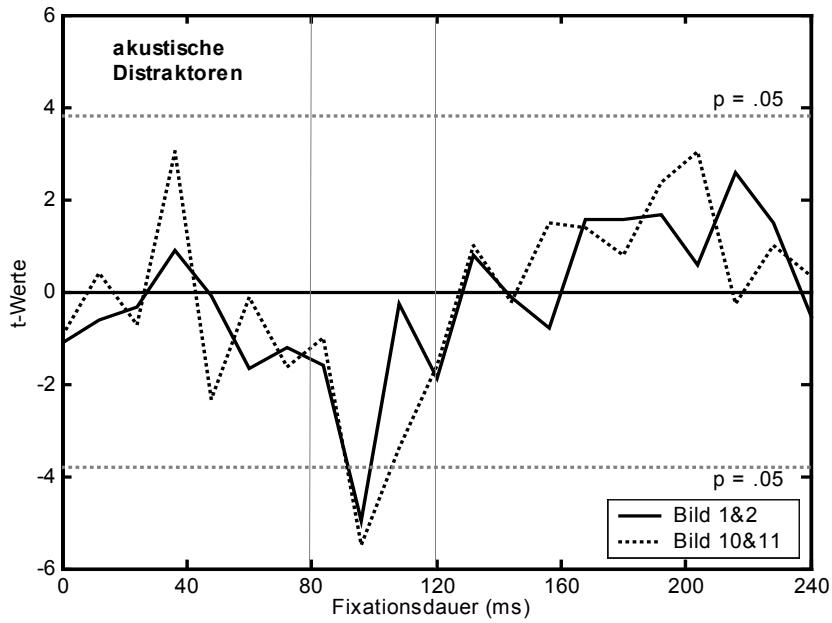


Abb. 5-27: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests für Bild 1 und 2 sowie Bild 10 und 11 (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms).

**zu (c)** Für die Analyse der Effektlatenz innerhalb der Bilder wurden, getrennt nach den Distraktormodalitäten, jeweils die ersten und letzten fünf Distraktoren pro Bild verglichen.

Für die visuellen Distraktoren zeigt sich, dass auch innerhalb der Bilder die Effektlatenz stabil bleibt und keine Veränderungen nachweisbar sind (vgl. Abb. 5-28).

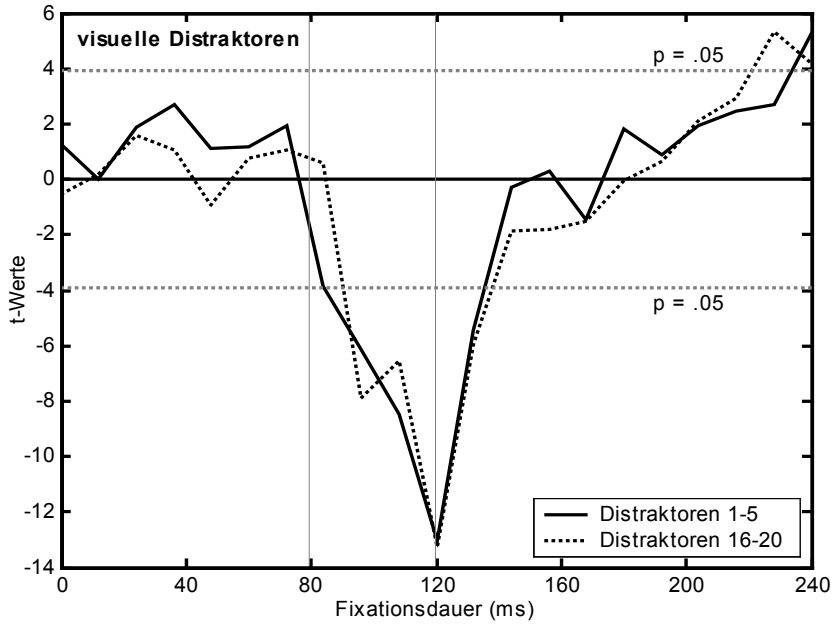


Abb. 5-28: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests für die ersten und die letzten fünf Distraktoren pro Bild (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms).

Der Vergleich der jeweils ersten und letzten fünf akustischen Distraktoren pro Bild zeigt einen deutlichen Unterschied (vgl. Abb. 5-29).

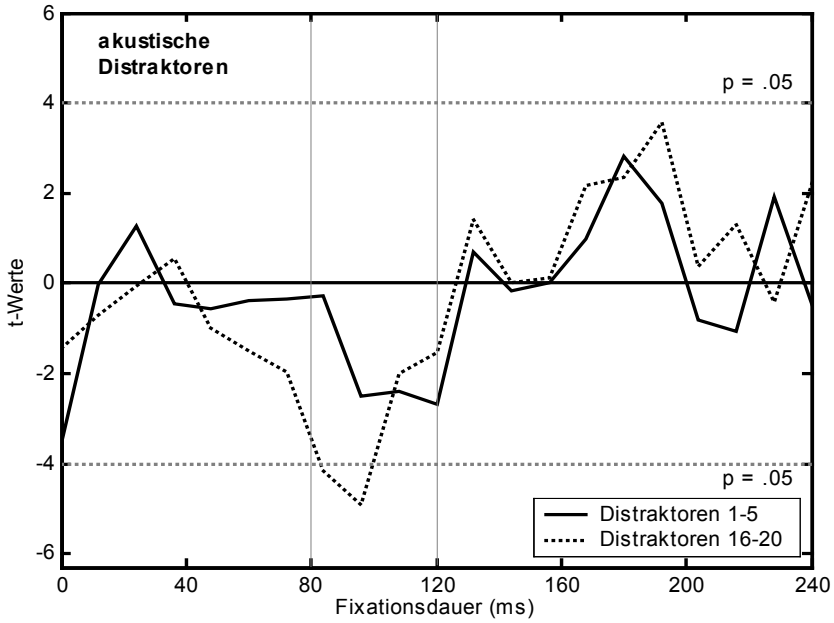


Abb. 5-29: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests für die ersten und die letzten fünf Distraktoren pro Bild (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms).

Für die ersten fünf Distraktoren lässt sich keine Signifikanz nachweisen, lediglich ein Trend ist erkennbar. Für die letzten fünf Distraktoren hingegen bestätigt sich die bisher gezeigte Effektlatenz. Neben den unterschiedlichen Ausprägungen i.S. der Signifikanz der Abweichungen ist zusätzlich eine zeitliche Verschiebung erkennbar. Zu Beginn der Bildbetrachtung scheint der Effekt um ca. 10-20 ms verzögert aufzutreten.

Zusammengefasst lässt sich, anhand der oben dargestellten Ergebnisse festhalten, dass die Effektlatenz über die einzelnen Versuchsblöcke und Bilder für beide Distraktormodalitäten als stabil angesehen werden kann. Bei der Analyse einzelner Distraktoren innerhalb des Bildes gilt dies lediglich für visuelle Distraktoren, während bei akustischen Störreizen eine deutliche Verschiebung der Effektlatenz gefunden wurde. Hypothese I kann anhand der vorliegenden Ergebnisse nur teilweise bestätigt werden.

#### 5.4.3.2 Hypothese II: Habituation – Effektstärke

Um zu überprüfen, ob es sich bei dem gefundenen Effekt um eine Ausprägung der Orientierungsreaktion handelt, sollte sich über die Zeit hinweg eine Abnahme der Effektstärke nachweisen lassen. Als Effektstärke wird in diesem Zusammenhang die Dauer der vom Distraktor betroffenen Fixation, abzüglich der aktuellen Distraktorlatenz (100 ms), verwendet. Lässt sich dabei eine Abnahme der Fixationsdauer unter folgenden Bedingungen nachweisen, so soll das als Nachweis für eine Habituation des Effekts gelten:

(a) Vergleich Block 1 vs. Block 2

(b) Bild 1 vs. Bild 11

(c) Distraktor 1 pro Bild vs. Distraktor 20 pro Bild.

**zu (a)** In Abbildung 5-30 sind die Fixationsdauerdifferenzen für die jeweiligen Blöcke in Abhängigkeit von der Distraktormodalität dargestellt. Zur Berechnung der Fixationsdauerdifferenzen wurde für jede Bedingung der Median der Fixationsdauer bei Distraktordarbietung und bei der *baseline* ermittelt. Anschließend wurde von der Fixationsdauer bei Distraktordarbietung die *baseline* subtrahiert. Die resultierenden Werte sind in Abbildung 5-30 dargestellt. Aus der Abbildung geht hervor, dass weder für die visuelle noch für die akustische Bedingung eine Verringerung der Fixationsdauerdifferenzen über die Blöcke hinweg nachgewiesen werden konnte. Dies bestätigte auch die Analyse mittels eines t-Tests für abhängige Stichproben (visuelle Distraktoren: $t_{(11)} = 0{,}940$; $p = 0.184$, einseitige Fragestellung; akustische Distraktoren: $t_{(11)} = -0{,}488$; $p = 0.318$, einseitige Fragestellung).

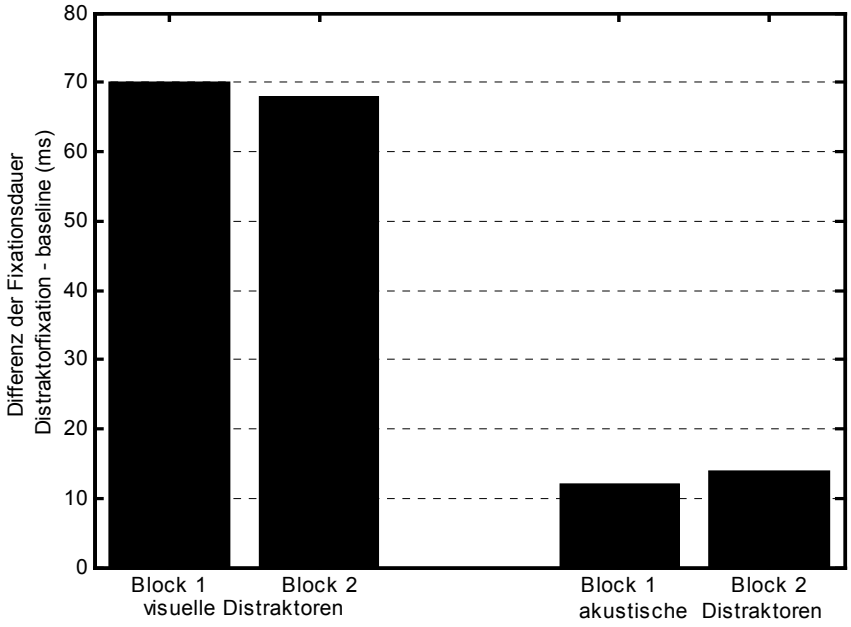


Abb. 5-30: Fixationsdauerdifferenzen getrennt nach Modalitäten für die einzelnen Blöcke.

**zu (b)** Bei der anschließenden Analyse wurden, wie bereits unter (a) beschrieben, die Fixationsdauerdifferenzen für die Bedingungen Bild 1 vs. Bild 11 ermittelt.

Anhand von Abbildung 5-31 lässt sich erkennen, dass sich die Fixationsdauerdifferenzen für beide Modalitäten vom ersten bis zum letzten Bild deutlich verringern. Die Analyse mit Hilfe eines t-Tests für abhängige Stichproben weist diese Abnahme der Differenzen als signifikant aus (visuelle Distraktoren: $t_{(11)} = 3{,}901$; $p = 0.001$, einseitige Fragestellung; akustische Distraktoren: $t_{(11)} = 2{,}169$; $p = 0.026$, einseitige Fragestellung).

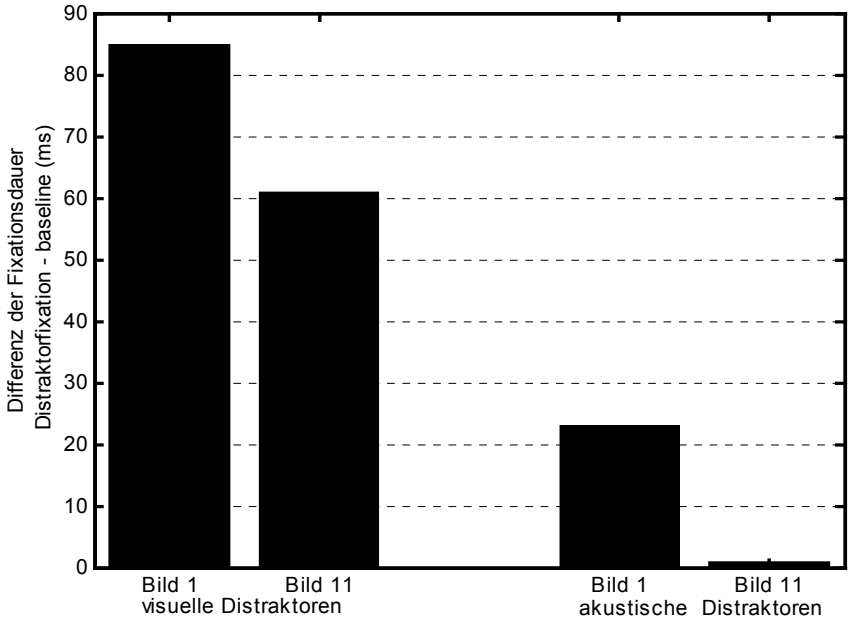


Abb. 5-31: Fixationsdauerdifferenzen getrennt nach Modalitäten jeweils für Bild 1 und Bild 11.

**zu (c)** In einem letzten Schritt wurden für die jeweils ersten und letzten Distraktoren pro Bild, wie bereits unter (a) beschrieben, die Fixationsdauerdifferenzen ermittelt.

Anhand von Abbildung 5-32 lässt sich erkennen, dass die Fixationsdauerdifferenzen bei visuellen Distraktoren entgegen der formulierten Hypothese, vom ersten zum letzten Distraktor hin steigen. Diese Zunahme erweist sich allerdings bei der Überprüfung als nicht signifikant (visuelle Distraktoren: $t_{(11)} = 0{,}022$; $p = 0.492$, einseitige Fragestellung). Für akustische Distraktoren hingegen zeigt Abbildung 5-32 eine Verringerung der Differenzen vom ersten zum letzten Distraktor hin. Ein t-Test für abhängige Stichproben weist diesen Trend allerdings ebenfalls als nicht signifikant aus (akustische Distraktoren: $t_{(11)} = 1{,}448$; $p = 0.088$, einseitige Fragestellung).

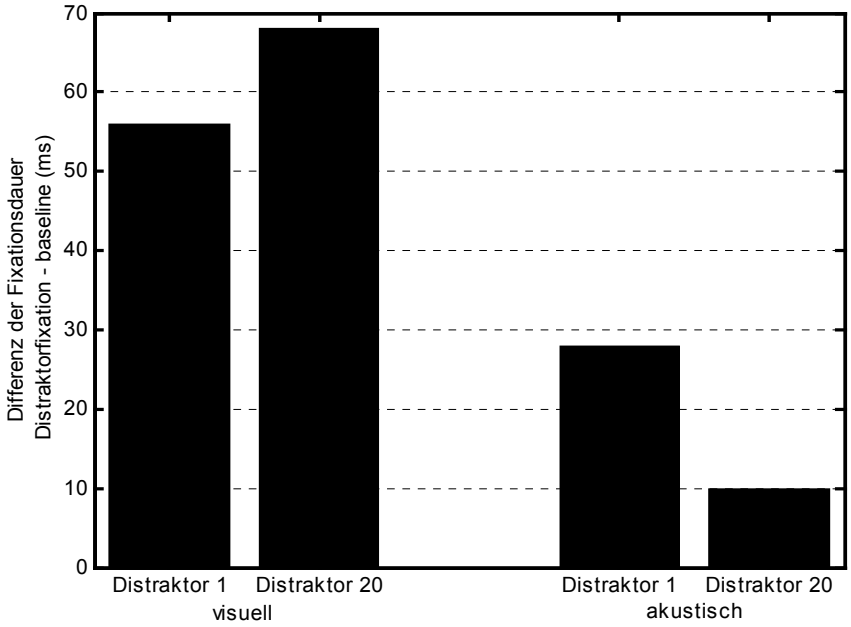


Abb. 5-32: Fixationsdauerdifferenzen getrennt nach Modalitäten jeweils für den ersten und letzten Distraktor pro Bild.

Für Hypothese II lässt sich zusammenfassen, dass eine Verringerung der Effektstärke lediglich über die Bilder hinweg nachgewiesen werden kann. Sowohl für die einzelnen Untersuchungsblöcke, als auch für die jeweils ersten und letzten Distraktoren pro Bild lässt sich keine Verringerung der Effektstärke i.S. einer Habituation nachweisen. Anhand der vorliegenden Daten kann Hypothese II deshalb nur in sehr begrenztem Ausmaß bestätigt werden. Habituation lässt sich für die Fixationsdauer nur vom ersten zum letzten Bild nachweisen, dies gilt für beide Distraktormodalitäten.

#### 5.4.3.3 Hypothese III: Habituation – N1 Komponente

Parallel zu der Registrierung der Blickbewegungen wurden EKP's abgeleitet, um zu überprüfen, ob sich eine Verringerung der N1 Komponente über die Zeit nachweisen lässt, da diese als etablierter Parameter der Habituation einer Orientierungsreaktion gilt (vgl. 2.6). Zum besseren Verständnis sind zunächst in Abbildung 5-33 die EKP's für den visuellen Distraktor dargestellt. Da für die Beantwortung der vorliegenden Fragestellung nur ausgewählte Ableitpositionen der Untersuchung von Interesse sind, soll auf die vollständige Darstellung verzichtet werden (für eine detaillierte Darstellung vgl. Marx, 2002).

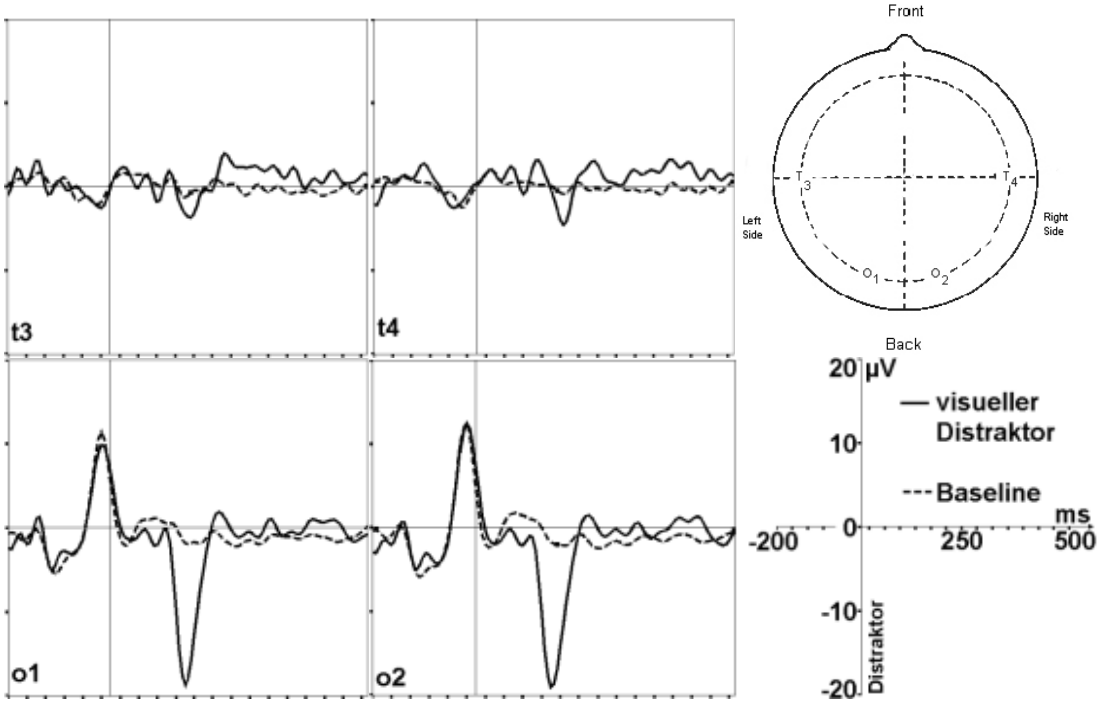


Abb. 5-33: EKP's an den Ableitpositionen t3, t4, o1 und o2 für den visuellen Distraktor und die *baseline*.

Als *baseline* wurde in der hier dargestellten Untersuchung das fünfte Bild jedes Blockes verwendet, bei diesem wurden die entsprechenden Distraktoren lediglich simuliert, aber nicht dargeboten – insofern ist die Vergleichbarkeit gewährleistet. Anhand der einzelnen Darstellungen in Abbildung 5-33 wird deutlich, dass die Darbietung des visuellen Distraktors bei dem Vergleich zwischen *baseline* und Distraktorbedingung an den Ableitpositionen t3 und t4 keinerlei Einfluss ausübt. Für die Ableitpositionen o1 und o2 lassen sich hingegen deutliche Abweichungen erkennen.

In Abbildung 5-34 sind analog zum visuellen Distraktor die EKP's für die Darbietung des akustischen Distraktors dargestellt. Dabei lässt sich anhand der einzelnen Darstellungen erkennen, dass akustische Distraktoren eine deutliche Abweichung im Vergleich zur *baseline* an den Ableitpositionen t3 und t4 bewirken, während kein Einfluss an den Ableitpositionen o1 und o2 deutlich wird. Für beide Abbildungen lässt sich an den Ableitpositionen eine starke Aktivität an den Ableitpositionen o1 und o2 um den Zeitpunkt der Distraktordarbietung erkennen. Dies gilt sowohl für die *baseline*, als auch für die jeweilige Experimentalbedingung. Diese Aktivität ist auf das gewählte Versuchsdesign zurückzuführen: die Distraktoren wurden blickkontingent mit einer Latenz von 100 ms nach Fixationsbeginn dargeboten, die Aktivität im Okzipitallappen ist folglich auf die eintreffenden visuellen Informationen zurückzuführen.

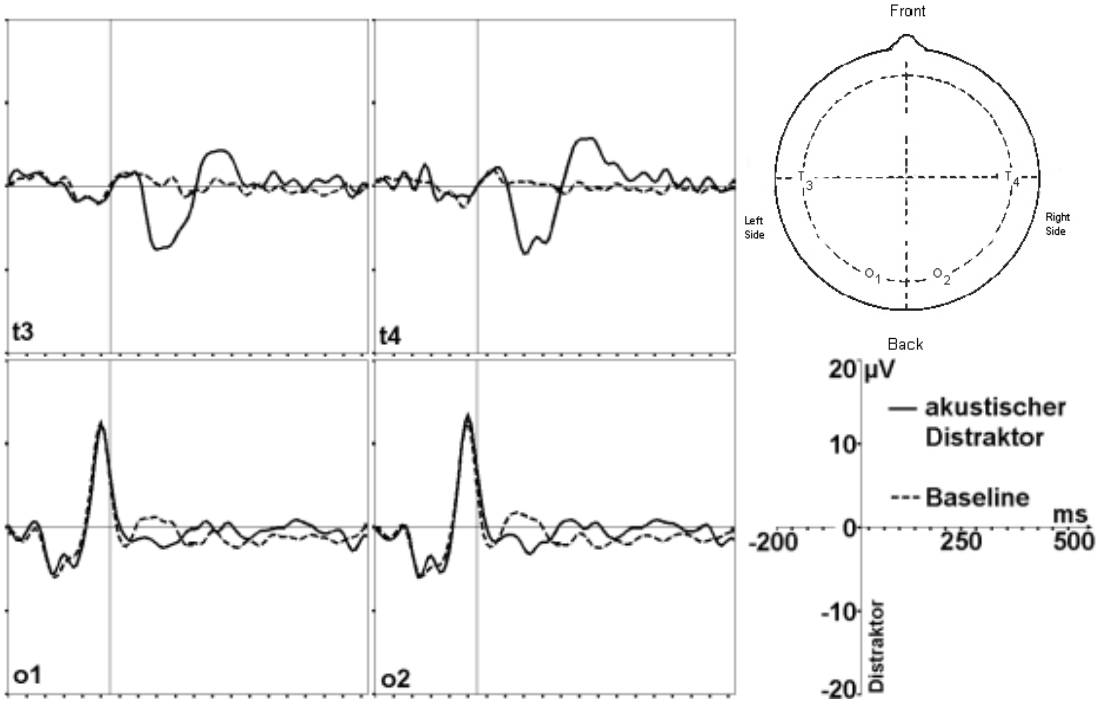


Abb. 5-34: EKP's an den Ableitpositionen t3, t4, o1 und o2 für den akustischen Distraktor und die *baseline*.

Die nachfolgenden Analysen der Daten erfolgten wiederum mit dem unter 5.2.3.1 beschriebenen Verfahren Blair und Karniski (1993). In einem ersten Schritt sollte eine Signifikanzprüfung der in den Abbildungen 5-33 und 5-34 dargestellten Effekte vorgenommen werden. Für den Vergleich mit der *baseline* wurden die Distraktoren des ersten Bildes ausgewählt. Für den visuellen Distraktor wird im folgenden die Auswertung der Ableitungsposition o2 dargestellt, für den akustischen Distraktor die Ableitposition t3. Zur besseren Vergleichbarkeit ist in den folgenden Abbildungen das Intervall von 80-120 ms nach Distraktordarbietung wiederum durch graue Linien gekennzeichnet.

Anhand von Abbildung 5-35 lässt sich zeigen, dass sich der Distraktoreffekt neben den bereits dargestellten Verlängerungen der Fixationsdauer auch in den abgeleiteten EKP's nachweisen lässt. Dabei zeigt sich eine signifikante Beeinflussung durch visuelle Distraktoren (durchgezogene Linie), ebenso wie durch akustische Distraktoren (durchbrochene Linie), für den Vergleich des Bildes „ohne" Distraktoren mit dem jeweils ersten Bild. Analog zu den Resultaten bei der Analyse der Fixationsdauer zeigt sich auch in den EKP's die Beeinflussung durch akustische Distraktoren eher (ca. 40 ms) als durch visuelle Störreize. Die durch die unterschiedlichen Distraktoren beeinflusste Komponente lässt sich aufgrund des zeitlichen Verlaufs und der Art der Potentialänderungen als N1-Komponente identifizieren.

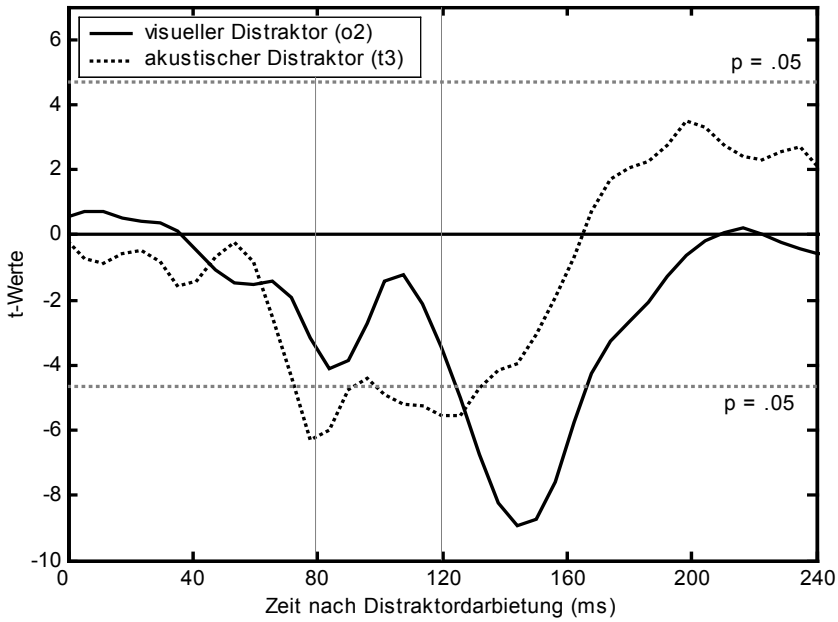


Abb. 5-35: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests der EKP's für den Vergleich zwischen Bild 1 und der *baseline*.

Die Überprüfung auf eine Habituation des Effektes in den aufgezeichneten EKP's soll für die angeführten Bedingungen erfolgen:

(a) Bild 1 vs. Bild 11

(b) Distraktor 1 pro Bild vs. Distraktor 20 pro Bild.

(auf einen Vergleich zwischen Block 1 und Block 2 wird an dieser Stelle verzichtet, da sich bereits die Ergebnisse der Blickbewegungsdaten als wenig aussagekräftig erwiesen.)

**zu (a)** Der Vergleich der EKP's des ersten und letzten Bildes für visuelle Distraktoren zeigt eine signifikante Verringerung der N1 Komponente in einem Intervall zwischen 120 und 160 ms (vgl. Abb. 5-36). Für den akustischen Distraktor lässt sich keine signifikante Verringerung finden. Der Kurvenverlauf der einzelnen t-Werte in Abbildung 5-36 bestätigt lediglich einen Trend zur Abnahme in einem zeitlichen Intervall von ca. 80 bis 120 ms.

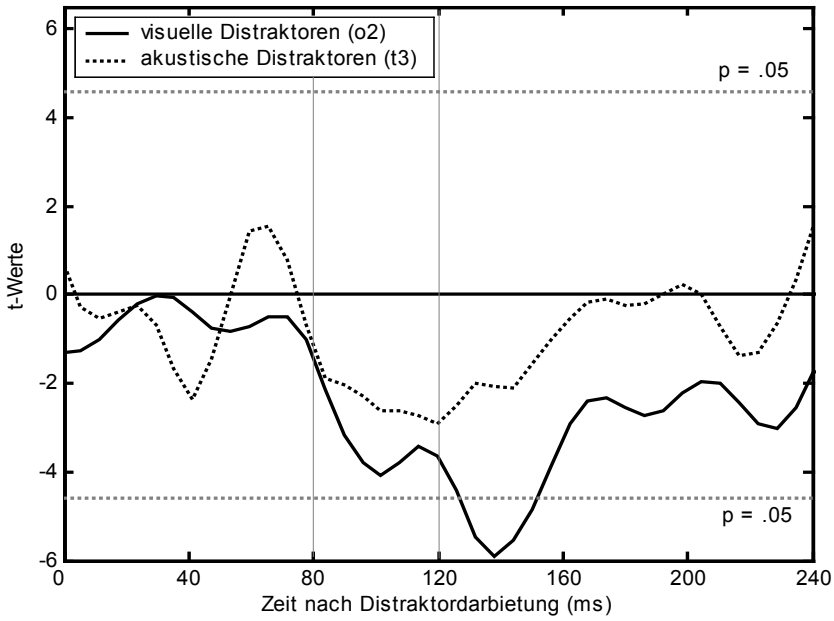


Abb. 5-36: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests für die EKP's für den Vergleich zwischen Bild 1 und Bild 11.

**zu (b)** Bei der Analyse über den jeweils ersten und letzten Distraktor pro Bild zeigt sich für beide Modalitäten eine signifikante Beeinflussung der EKP's (vgl. Abb.5-37).

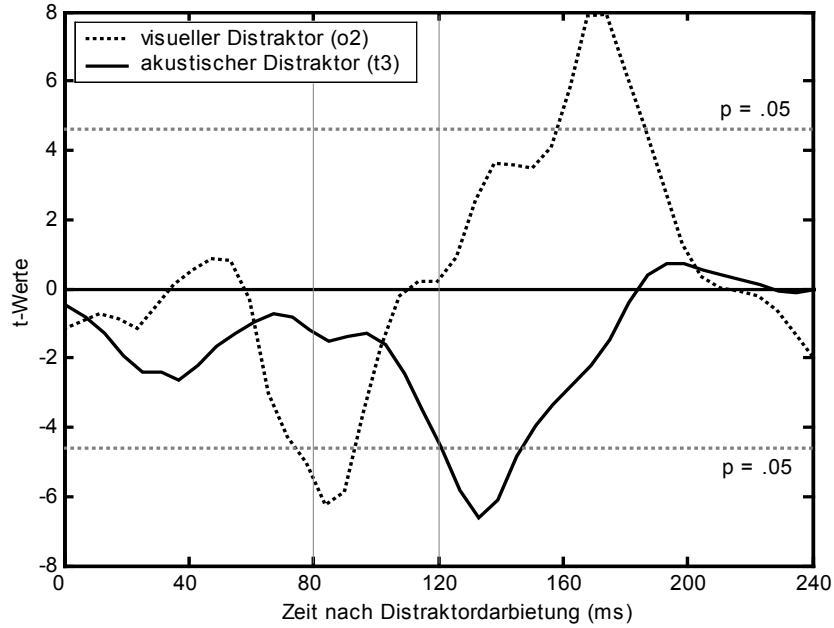


Abb. 5-37: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests für die EKP's für den Vergleich zwischen Distraktor 1 und Distraktor 20 pro Bild.

Für visuelle Distraktoren zeigt sich die Verringerung der N1 Komponente in einem Intervall von ca. 120-140 ms. Die Abnahme der N1 Komponente bei akustisch dargebotenen Distraktoren erscheint bereits in einem Intervall von ca. 80-100 ms nach der Distraktordarbietung. Auf die Interpretation der zeitlich späteren Beeinflussung der EKP's (ab ca. 160 ms) durch akustische Distraktoren soll an dieser Stelle verzichtet werden.

### 5.4.4 Diskussion

Die Resultate der Untersuchung 3 bestätigen erneut die Intermodalität des Distraktoreffektes, sowie das zeitlich festgelegte Auftreten des Phänomens (vgl. Hypothese I). Im Vordergrund der dargestellten Untersuchung stand die parallele Aufzeichnung von Blickparametern und die dazu synchronisierte Auswertung der EKP's. Dabei konnte eindeutig nachgewiesen werden, dass sich die Darbietung von visuellen und akustischen Distraktoren nicht nur in einer Verlängerung der Fixationsdauer widerspiegelt, sondern auch deutliche Auswirkungen auf frühe Komponenten (N1) der EKP's beinhaltet. Neben dem Nachweis der parallelen Modulation der beiden physiologischen Parameter – Fixationsdauer und N1 Komponente – sollte mit Hilfe des gewählten Versuchsaufbaus untersucht werden, inwieweit sich bei wiederholter Darbietung von visuellen und akustischen Störreizen unter gleichen Bedingungen eine Verringerung des Effektes über die Zeit hinweg nachweisen lässt. Dafür sollten zunächst – hinsichtlich der Darbietungskoordinaten vergleichbare Bedingungen für visuelle und akustische Distraktoren geschaffen werden. In Experiment 2 ließen sich bei retinal fixierten visuellen Distraktoren Ausprägungen einer Habituation nachweisen (vgl. 5.3.3.3), während dieser Nachweis für Distraktoren auf stets gleichen Bildpositionen nicht erbracht werden konnte. Um dennoch eine Vergleichbarkeit mit akustischen Distraktoren zu ermöglichen, wurde eine möglichst unspezifische Darbietungsart der visuellen Störreize gewählt: Die Manipulation des Bildrandes. Anhand der vorliegenden Ergebnisse muss jedoch festgehalten werden, dass sich eine Verringerung des Effektes möglicherweise bei retinal fixierten Distraktoren einfacher und effektiver nachweisen lässt. Ein direkter Vergleich der drei Präsentationsmöglichkeiten (retinal fixiert vs. feste Bildposition vs. Manipulation des Bildrahmens) visueller Distraktoren könnte hierbei unter Umständen Klarheit schaffen.

Bei der Überprüfung der Abnahme des Effektes über die betrachteten Bilder hinweg konnte anhand der vorliegenden Daten eine deutliche Verringerung des Distraktoreffektes für den Parameter Fixationsdauer nachgewiesen werden. Über die Versuchsblöcke hinweg zeigte sich demgegenüber keine Veränderung, dabei kann als mögliche Ursache angesehen werden, dass zwischen den beiden visuellen Blöcken ein Block mit akustischen Distraktoren absolviert wurde und umgekehrt. Innerhalb der einzelnen Bilder ließ sich ebenfalls keine Habituation nachweisen. Dabei gilt zu beachten, dass bei den vorliegenden Untersuchungen stets mit möglichst natürlichem Stimulusmaterial gearbeitet wurde (vgl. 5.1.2), insofern

können verschiedenste Verarbeitungsprozesse während der freien Bildbetrachtung einen Einfluss auf den Distraktoreffekt ausüben. Es konnte zwar eine Stabilität hinsichtlich des Auftretens des Effektes gezeigt werden, inwieweit unterschiedliche Verarbeitungsmodi Einflüsse auf die Habituation ausüben, lässt sich anhand der vorliegenden Daten nur schwer beantworten. Eine mögliche Einflusskomponente könnte z.B. die Unterscheidung von ambienter und fokaler Aufmerksamkeit während der Bildbetrachtung darstellen (vgl. 2.4.1). Ausführlich sollen diese Überlegungen unter 6 diskutiert werden.

Hinsichtlich der N1 Komponente der EKP's lässt sich aufgrund der dargestellten Ergebnisse festhalten, dass unter Berücksichtigung der Modulation durch die verschiedenen Distraktormodalitäten, ebenfalls eine Verringerung der Ausprägung nachgewiesen werden konnte. Für visuell präsentierte Störreize ließ sich hierbei die bereits beschriebene Verringerung über die Bilder hinweg und zusätzlich auch noch eine Abnahme der Beeinflussung innerhalb des Bildes, vom ersten zum letzten Distraktor hin, zeigen. Bezüglich der akustischen Distraktoren konnte eine eindeutige Verringerung lediglich für letztgenannte Bedingung gezeigt werden – eine Abnahme vom ersten zum letzten Distraktor hin. Der Vergleich zwischen dem jeweils ersten und letzten Bild offenbarte lediglich einen nichtsignifikanten Trend. Dabei gilt es, wie bereits unter 5.2.3.1 dargestellt, zu berücksichtigen, dass es sich bei dem eingesetzten Verfahren von Blair und Karniski (1993) um eine sehr konservative Analysemethode handelt. Da die Effekte durch akustische Distraktoren stets geringer ausgeprägt sind, als für visuell präsentierte Störreize, ist somit auch nur eine geringere Abnahme des gesamten Effektes möglich. Auf Möglichkeiten der Überwindung dieser Schwierigkeiten soll unter 6 hingewiesen werden.

## 5.5 Experiment 4: Explorative Studie mit Neglectpatienten

Für das vierte Experiment bot sich die Möglichkeit, einen Patienten der Helene-Meier-Stiftung in Kreischa (Sachsen) zu untersuchen. Der Patient absolvierte verschiedene, auf die visuelle Wahrnehmung bezogene Tests in der Helene-Meier-Stiftung, wobei die dortigen Kollegen teilweise recht widersprüchliche Ergebnisse registrierten. Zur Analyse der Beeinträchtigung des Blickverhaltens bzw. Einschränkungen der visuellen Wahrnehmung sollten innerhalb eines Tests die Blickbewegungen registriert werden. Dabei wurden visuelle Distraktoren präsentiert, um zu untersuchen, ob sich Abweichungen des Distraktoreffektes aufgrund der Beeinträchtigungen feststellen lassen. Die Untersuchung hatte eher explorativen Charakter, d.h. anhand der Ergebnisse sollten weitere allgemeine Erkenntnisse zum Distraktoreffekt gefunden werden.

### 5.5.1 Hypothesen

Da die folgende Untersuchung als eher explorative Studie angelegt war, wurden im Vorfeld keine expliziten Hypothesen formuliert.

### 5.5.2 Methode

#### 5.5.2.1 Versuchsperson

Das Alter des Probanden TF betrug 27 Jahre. Der Proband nahm an zwei Untersuchungen teil, die mit einem zeitlichen Abstand von 8 Monaten durchgeführt wurden. Bei der ersten Untersuchung trug der Proband eine Brille, um die Normalsichtigkeit zu gewährleisten, bei der zweiten Untersuchung wurde keine Brille benötigt.

**Beschreibung der Schädigung:** Aufgrund eines Motorradunfalls erlitt TF am 22.05.2001 ein schweres Schädelhirntrauma (3.Grades). Als Folge wurde eine Frontalhirnkonfusion, eine Schädelimpressionsfraktur, eine Stirnhöhlenfraktur und eine neuropsychologische Folgestörung diagnostiziert. Aus dem Entlassungsbericht vom 31.12.2001 geht hervor, das TF unter einer Sehstörung des Nervus 3 und 4 Parese rechts, einer latenten Hemiparese links, und rechts frontotemporal unter Kopfschmerzen litt. Das Gesichtsfeld von TF wird als normal beschrieben, wobei in der Ferne heteronyme höhenversetzte Doppelbilder festgestellt wurden. Die erste Untersuchung wurde 12 Monate nach dem Unfall durchgeführt, die zweite Untersuchung erfolgte mit einem Abstand von 20 Monaten zum Unfallzeitpunkt.

#### 5.5.2.2 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau entsprach den Angaben unter 5.1.1.2.

#### 5.5.2.3 Stimulusmaterial

Dem Probanden wurden 16 Bilder mit einer Auflösung von 800 x 600 Pixel dargeboten (vgl. Abb. 5-1). Während der Bildbetrachtung erschienen visuelle Distraktoren mit einem Abstand von 50 Pixeln zum Fixationsort. Der Abstand wurde für den gesamten Versuch konstant gehalten, aber für die einzelnen Versuchsabschnitte veränderte sich die Position der Distraktoren relativ zum Fixationsort. Die Implementierung des visuellen Distraktors erfolgte durch eine Inversion der Farben des jeweiligen Bildbereiches mit einem Durchmesser von 25 Pixeln. Bei der zweiten Untersuchung erfolgte zusätzlich noch ein zweiter Durchgang, bei dem der Durchmesser des visuellen Distraktors 50 Pixel betrug. Auf-

grund dieser Änderung wurde der Distraktorabstand bei der zweiten Untersuchung auf 100 Pixel festgesetzt.

#### 5.5.2.4 Versuchsablauf

Bei der ersten Untersuchung absolvierte der Proband vier aufeinanderfolgende Versuchsabschnitte, mit je vier Bildern. Während der Betrachtung eines Bildes erschienen 20 visuelle Distraktoren, mit einer Latenz von 160 ms nach Fixationsbeginn und einer Dauer von 75 ms. Im ersten Versuchsabschnitt wurden die Distraktoren links, im zweiten oberhalb, im dritten unterhalb und im vierten rechts des Fixationsortes präsentiert. Anhand der bereits beschriebenen Routine (vgl. 5.2.2.4) wurde durchschnittlich jede siebente Fixation für die Distraktordarbietung ausgewählt. Dabei galt ebenfalls für den Fall, dass die Fixation bereits vor dem Erreichen der geforderten Latenz beendet wurde, keine Distraktordarbietung stattfand und auf die nächste Fixation mit der entsprechenden Länge gewartet wurde, bis die Realisierung des Distraktors möglich war.

Die zweite Untersuchung erfolgte analog zu dem bereits durchgeführten Experiment. Zusätzlich wurde noch eine Versuchsreihe absolviert, um den Einfluss der Distraktorgröße zu überprüfen. Es ergaben sich also zweimal vier aufeinanderfolgende Versuchsabschnitte mit jeweils vier Bildern. Die Distraktoren wurden bei der zweiten Untersuchung mit einer Latenz von 100 ms dargeboten.

### 5.5.3 Ergebnisse

Für die Datenanalyse wurde eine Fixation vor bzw. nach Distraktordarbietung sowie die vom Distraktor betroffene Fixation verwendet. Des weiteren wurden Fixationen mit einer Dauer <40 ms bzw. >1500 ms von allen Analysen ausgeschlossen (=1,15%). Für einen ersten Vergleich wurden die jeweiligen Distraktorlatenzen bei der betroffenen Fixation und den beiden angrenzenden Fixationen abgezogen. Als *baseline* gelten die beiden, an die Distraktorfixation angrenzenden Fixationen. Dadurch ist eine Vergleichbarkeit gewährleistet, bei der überprüft werden sollte, ob sich durch die Präsentation der Distraktoren eine Verlängerung der Fixationsdauer nachweisen lässt.

Die resultierende Analyse für die Mediane der einzelnen Untersuchungen, mit Hilfe einer Varianzanalyse für Messwiederholungen, bestätigt diese Annahme: es zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen der Fixationsdauer der *baseline* und der Dauer von vom Distraktor betroffenen Fixationen für alle drei Untersuchungen ($F_{(1,2)} = 29{,}90$; $p = 0.032$).

In Abbildung 5-38 sind die Fixationsdauerunterschiede relativ zur Fixation -1 bei der ersten Versuchsreihe dargestellt. Die einzelnen Linien entsprechen dabei den

ermittelten Werten, für die jeweiligen Positionen der Störreize relativ zum Fixationsort.

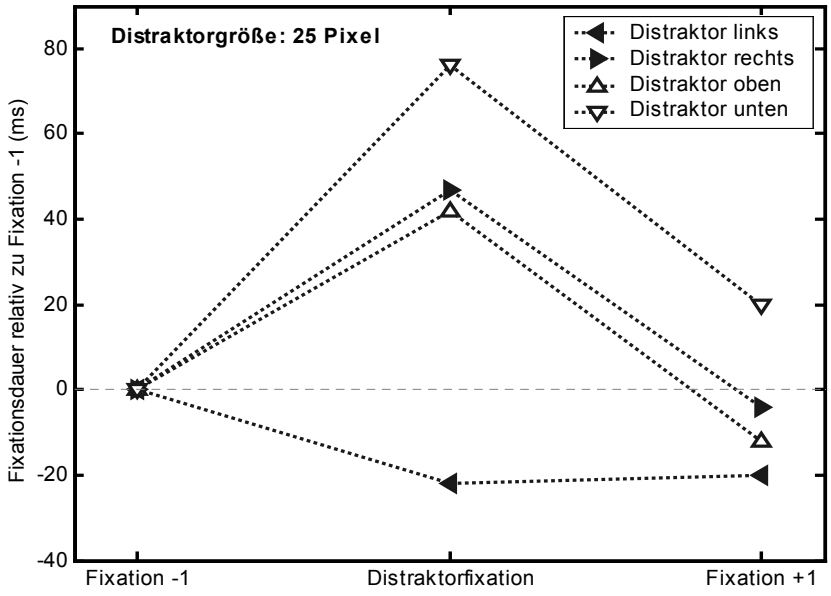


Abb. 5-38: Fixationsdauern für die verschiedenen Distraktorpositionen bei Versuchsreihe 1 relativ zu Fixation -1.

Aus der Abbildung 5-38 geht deutlich hervor, dass auch in dieser Untersuchung eine Verlängerung der Fixationen, hervorgerufen durch die Präsentation visueller Störreize gemessen werden konnte. Die einzige Ausnahme hierbei bilden Distraktoren, die links des Fixationsortes erschienen: Offensichtlich wurden die Störreize links des Fixationsortes nicht wahrgenommen bzw. verarbeitet. Bei einem ersten Vergleich der Fixationsdauern mit vs. ohne Distraktor mit Hilfe einer Varianzanalyse für Messwiederholungen zeigt sich ein signifikanter Einfluss der Störreize ($F_{(1,10)} = 16{,}47$; $p = 0.002$). Um zu überprüfen, inwieweit dieser Befund für alle Distraktorpositionen gilt, wurden für die verschiedenen Positionen t-Tests für abhängige Stichproben berechnet. Dabei konnte für Distraktoren rechts, oben und unterhalb des Fixationsortes eindeutig ein signifikanter Unterschied ermittelt werden ($t_{rechts,(11)} = 2{,}175$; $p = 0.026$; $t_{oben,(11)} = 1{,}817$; $p = 0.049$; $t_{unten,(11)} = 2{,}192$; $p = 0.027$, jeweils einseitige Fragestellung). Im Gegensatz dazu konnte für Distraktoren links des Fixationsortes keine Signifikanz ermittelt werden ($t_{links\ (11)} = 1{,}040$; $p = 0.160$, einseitige Fragestellung).

Die Abbildungen 5-39 und 5-40 zeigen die Ergebnisse der Nachfolgeuntersuchung, die acht Monate später durchgeführt wurde. Die Darstellungen der Werte erfolgt dabei analog zu Experiment 1 (vgl. Erläuterungen zu Abb. 5-38). Für diese Untersuchungsreihe wurde zusätzlich die Distraktorgröße variiert, um einen etwas umfangreicheren Datensatz zu erzeugen und somit die Ergebnisse gegenüber den intraindividuellen Schwankungen der Fixationsdauer besser abzusichern.

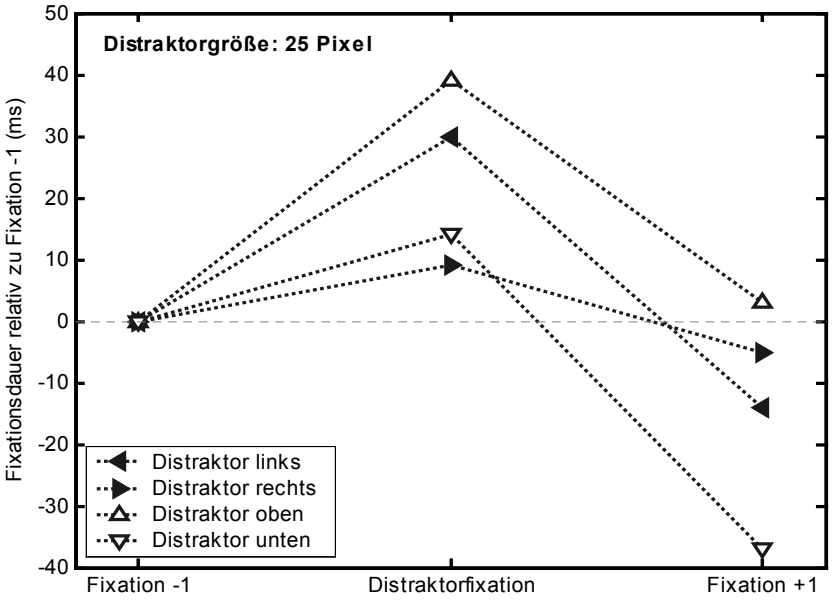


Abb. 5-39: Fixationsdauern für die verschiedenen Distraktorpositionen bei Versuchsreihe 2 relativ zu Fixation –1 (Durchgang 1).

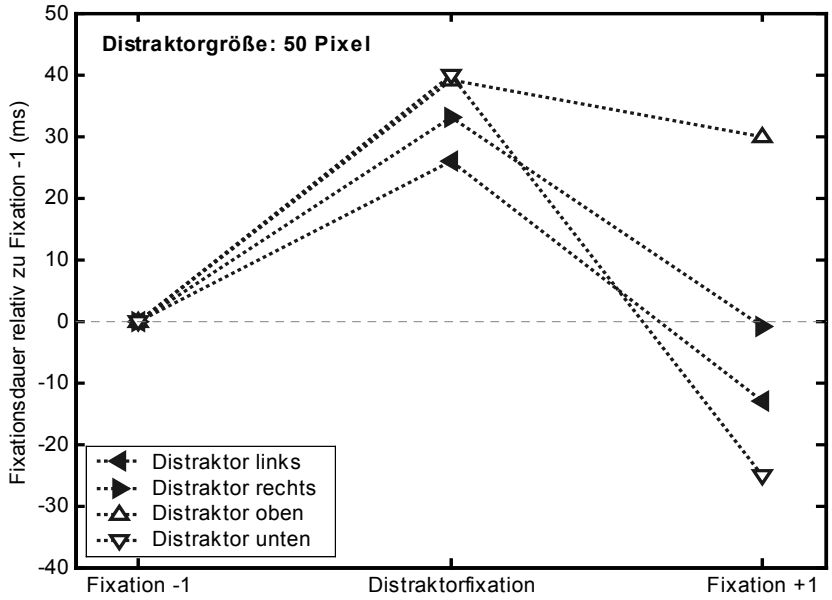


Abb. 5-40: Fixationsdauern für die verschiedenen Distraktorpositionen bei Versuchsreihe 2 relativ zu Fixation –1 (Durchgang 2).

Die Abbildungen 5-39 und 5-40 zeigen, dass im Gegensatz zur ersten Versuchsreihe, auch für Distraktoren links des Fixationsortes ein deutlicher Distraktoreffekt nachweisbar ist. Diesen Befund bestätigen die Varianzanalysen für Messwiederholungen (Distraktorgröße 25: $F_{(1,11)} = 12{,}33$; $p = 0.005$, Distraktorgröße 50:

$F_{(1,11)} = 8{,}31$; $p = 0.015$) und auch die t-Test für abhängige Stichproben für Distraktoren auf der linken Seite (Distraktorgröße 25: $t_{(11)} = 2{,}377$; $p = 0.037$, Distraktorgröße 50: $t_{(11)} = 1{,}796$; $p = 0.050$, jeweils einseitige Fragestellung).

### 5.5.4 Diskussion

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung beinhalten, obwohl es sich lediglich um eine Einzelfallstudie handelt, wertvolle Informationen, über die Zusammenhänge der Blicksteuerung. Für die in dieser Arbeit behandelten ereignisbezogenen Verlängerungen der visuellen Fixationsdauer werden subkortikale Prozesse angenommen, deren Ursprung im SC vermutet wird (vgl. 2.5). Der Proband, der innerhalb dieser Versuchsreihe getestet wurde, hatte aufgrund seines Unfalls Schädigungen im frontotemporalen Bereich, d.h. eine Schädigung des SC ließ sich mit großer Wahrscheinlichkeit ausschließen. Da auch das Blickverhalten als eindeutig intakt angenommen werden konnte (für das Abtastverhalten bei der Bildbetrachtung und die erhobenen Blickparameter zeigten sich keinerlei Abweichungen zu gesunden Probanden), muss für den fehlenden Distraktoreffekt in der ersten Versuchsreihe bei Störreizen links des Fixationsortes eine andere, an der Generierung von Blickbewegungen beteiligte Instanz angenommen werden. Obwohl anhand der vorliegenden Daten eher spekulativ, liegt die Vermutung nahe, dass die Kommunikation zwischen FEF und dem SC bei dem untersuchten Probanden aufgrund der Schädigung gestört war.

Anhand der verfügbaren Daten konnte die Art der vorliegenden Störung nicht ermittelt werden, d.h., ob eine direkte Schädigung des FEF vorlag oder die Kommunikation zwischen SC und FEF aufgrund anderweitiger Schädigungen gestört war. Die Ergebnisse weisen auf jeden Fall in die gleiche Richtung, wie die unter 2.2.1 dargestellten Studien zur reversiblen Inaktivierung des FEF (Dias & Segraves, 1999; Sommer & Tehovnik, 1997). Die Autoren berichten, dass die jeweils untersuchten Affen mit den temporär inaktivierten FEF Schwierigkeiten hatten, vorzeitige Sakkaden zu unterdrücken. Guitton, Buchtel und Douglas (1985) untersuchten Probanden mit unilateralen frontalen Läsionen anhand des Antisakkadenparadigmas (die Sakkaden müssen dabei in die entgegengesetzte Richtung zum erscheinenden Reiz ausgeführt werden). Die Autoren berichten von reflexiven Sakkaden, also genau das Gegenteil der eigentlichen Aufgabe. Obwohl die Daten der dargestellten Untersuchung keinesfalls gesicherte Rückschlüsse erlauben, scheinen die gefundenen Ergebnisse mit den dargestellten Befunden in Einklang zu stehen. Möglicherweise konnte im vorliegenden Fall die zusätzliche visuelle Veränderung (Erscheinen eines Distraktors), was – wie in dieser Arbeit mehrfach nachgewiesen – normalerweise zur kurzzeitigen Verhinderung einer Sakkade führt, nicht angemessen verarbeitet werden, da entsprechende Strukturen des FEF beschädigt waren. Eine weitere Unterstützung für diese Annahme bieten die Befunde von Latto und Cowey (1971a) sowie Sommer und Tehovnik (1997): Die Autoren berichten, unter den bereits dargestellten Bedingungen der Inaktivierung des FEF,

einerseits von Schwierigkeiten kontralateral zu fixieren bzw. von Beeinträchtigungen bei der Ausführung kontralateraler Sakkaden. Im vorliegenden Fall ließ sich eine Beeinträchtigung des Distraktoreffektes ebenfalls nur für die kontralaterale Seite nachweisen.

Bei der zweiten Versuchsreihe, acht Monate später, konnten diese Befunde nicht repliziert werden. Auch dieses Ergebnis steht im Einklang mit bisherigen Befunden. In verschiedenen Untersuchungen wurde eine operative Entfernung des FEF vorgenommen (Latto, 1977; Latto & Cowey, 1971a, 1971b; Schiller, True, & Conway, 1980), dabei zeigte sich eine Verringerung der entstandenen Defizite nach einigen Wochen. Offenbar wurden, aufgrund der dynamischen Organisation des Gehirns, die Aufgaben von angrenzenden Arealen übernommen.

Diese Interpretationen bleiben vor dem Hintergrund der aktuellen Daten eher spekulativ. Andererseits lieferte bereits die vorliegende Einzelfallstudie deutliche Ergebnisse, so dass davon ausgegangen werden kann, dass weitere Untersuchungen mit diesem Paradigma hilfereiche Erkenntnisse über die Zusammenhänge der an der Blicksteuerung beteiligten Strukturen und Prozesse liefern könnten. Mittels relativ einfach zu realisierender Experimente lassen sich somit unter Umständen aussagekräftige Ergebnisse über die Verbindungen von visueller Wahrnehmung und der Steuerung von Blickbewegungen gewinnen.

# 6 DISKUSSION

Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit dargestellten Untersuchungen beschäftigten sich mit dem Parameter der Fixationsdauer. Dabei wurde basierend auf verschiedenen Forschungsrichtungen der kognitiven Psychologie bzw. spezieller der Blickbewegungsforschung, und anschließend an eine vorangegangene Studie (Pannasch et al., 2001, vgl. 2.5.2) am Lehrstuhl für Kognitive Ergonomie und Ingenieurpsychologie ein neues Versuchsdesign entwickelt. Mit Hilfe dieses experimentellen Aufbaus ist es möglich, bei relativ freier Betrachtung verschiedener natürlicher Szenen (für die dargestellten Untersuchungen wurden Gemälde unterschiedlicher Maler in digitalisierter Form am Bildschirm dargeboten) blickkontingent verschiedene experimentelle Manipulationen vorzunehmen. Der daraus resultierende Vorteil besteht darin, dass innerhalb einer relativ natürlichen Umgebung (bezogen auf das visuelle Stimulusmaterial) eine zeitlich hochauflösende und räumlich sehr genaue Datenerfassung möglich ist. Die dabei erhobenen Ergebnisse lassen sich somit leichter verallgemeinern, als das bei üblichen artifiziellen „Fixieren-Springen" Experimenten der Fall sein dürfte.

Da sich die Fixationsdauer in vielen Kontexten als Maß der Verarbeitungstiefe bzw. Verarbeitungsintensität (z.B. Rayner, 1978; 1998; Velichkovsky, 2001; Velichkovsky et al., 1997, vgl. 2.1.2) herausgestellt hat, erscheint es von entscheidender Wichtigkeit, zu analysieren, inwieweit auch externe (irrelevante) Ereignisse diesen Parameter modulieren. Dafür wurden zunächst aktuell bestehende Modelle (McConkie et al., 1992; Reingold & Stampe, 2000; Walker et al., 1997, vgl. 2.5.1) erläutert, analysiert und innerhalb der dargestellten Experimente auf ihre Validität hin überprüft. Anhand der Ergebnisse zeigte sich, dass gegenwärtig existierende Modellvorstellungen der Art und Weise, wie die Fixationsdauer beeinflusst wird, nicht gerecht werden können. Auf der Suche nach einem passenderen Modell wurde die Einbettung in das Konzept der OR vorgeschlagen und überprüft.

Ziel der ersten Untersuchung sollte vor allem die Prüfung von zwei aktuell existierenden Ansätzen sein: Zum einen das von Blanchard et al. (1984) vorgeschlagene Modell zum Lesen (vgl. 2.4.2), welches von McConkie et al. (1992) weiterentwickelt wurde. Dabei wird angenommen, dass visuelle Informationen lediglich innerhalb eines zeitlich fixierten Intervalls zu Fixationsbeginn aufgenommen werden. Das von Reingold und Stampe (2000) vorgeschlagene Modell beschränkt sich auf visuelle Informationsaufnahme und verweist auftretende Veränderungen bei der Fixationsdauer auf einen optomotorischen Reflex. Ebenso beschränken sich Findlay und Walker (1999) in ihrem Modell zur Sakkadengenerierung auf visuelle Reize in Bezug auf den Distraktoreffekt. Die Ergebnisse des ersten Experimentes zeigen, dass sich Verlängerungen der Fixationsdauer zu

verschiedenen Zeitpunkten innerhalb der Fixation (bis zu 350 ms nach Fixationsbeginn) nachweisen lassen. Unter Berücksichtigung des Umstandes, dass für die durchschnittliche Fixationsdauer bei der Betrachtung von Bildern ca. 330 ms (Rayner, 1978) angenommen werden können, scheint die Beeinflussung von Fixationen über die gesamte Dauer als wahrscheinlich. Außerdem konnten vergleichbare Ergebnisse für visuelle und akustische Distraktoren nachgewiesen werden – eine Reduzierung auf einen optomotorischen Reflex scheint somit ebenfalls ein unzureichendes Erklärungsmodell zu sein.

Innerhalb der zweiten Untersuchung sollte analysiert werden, ob sich eine Abnahme der ereignisbezogenen Verlängerungen der Fixationsdauer nachweisen lässt und ob sich dabei Unterschiede hinsichtlich der Darbietungsart visueller Distraktoren finden lassen. Dabei zeigte sich eine Abnahme des Effekts, die als Habituation interpretiert werden kann, für Distraktoren, die auf stets den gleichen retinalen Koordinaten dargeboten wurden. Für Veränderungen auf festen Bildkoordinaten hingegen zeigte sich kein Hinweis auf eine Verringerung. Zusätzlich konnte festgestellt werden, dass diese Verringerung lediglich bei einer Latenz von 100 ms messbar ist. Bei einer Distraktorlatenz von 150 ms zeigte sich keine systematische Abnahme. Insofern scheint die Modulation des Effektes möglicherweise – obwohl der Effekt selbst nachweisbar ist – von der jeweiligen Verarbeitungsstufe abhängig zu sein. Ausgehend von dem Ansatz, dass sich verschiedene Verarbeitungsstufen mittels der Analyse des Verhältnisses von Fixationsdauer und Sakkadenamplitude erfassen lassen (vgl. Velichkovsky, Dornhoefer, Pannasch, & Unema, 2000), wäre hierfür eine gezielte Untersuchung notwendig. Dabei gilt es zu prüfen, inwieweit sich Unterschiede beim Auftreten des Effektes im *ambienten* bzw. *fokalen* Aufmerksamkeitsmodus (Trevarthen, 1968, vgl. 2.4.1) finden lassen. Um diese Frage zu klären, ist letztlich nicht nur eine Analyse der vom Distraktor betroffenen Fixation ausreichend, vielmehr sollte das Wechselspiel der beiden Verarbeitungsstufen dabei berücksichtigt werden. Dafür müsste zunächst für jede einzelne Bildbetrachtung jedes Probanden eine Klassifikation der Aufmerksamkeitsmodi vorgenommen werden, um anschließend die Distraktordarbietungen in diese Einteilung einzubinden. Vor dem Hintergrund dieser Vorgehensweise erscheint es auch notwendig, die gefundenen Habituationseffekte zu überdenken. Die dargestellten Ergebnisse gestatten es durchaus, das beschriebene Phänomen in das Konzept der OR einzubinden, wobei aussagekräftigere Resultate unter Berücksichtigung des beschriebenen Vorgehens zu erwarten sind. Offenbar handelt es sich um interagierende Wirkmechanismen, deren Zusammenspiel sich erst durch eine Trennung nach den entsprechenden Kriterien beschreiben lässt.

Für die dritte Untersuchung wurde die kombinierte Erfassung von Blickbewegungen und EKP's gewählt, um blickkontingent das Verhalten der N1 Komponente zu analysieren. Die Abnahme der N1 Komponente gilt als etablierter Parameter zum Nachweis der Habituation – einem wesentlichen Kriterium der OR (Kenemans et al., 1989; Verbaten et al., 1986). Dabei konnte eine Verringerung

über die Zeit sowohl für die Fixationsdauer als auch für die N1 Komponente gefunden werden. Die Annahme, dass sich ereignisbezogene Verlängerungen der Fixationsdauer folglich mit Hilfe des Konzeptes der OR erklären lassen, wird somit unterstützt. Diese Interpretation wird vor allem dadurch bekräftigt, dass der Nachweis der Habituation sowohl für visuelle als auch akustische Distraktoren erbracht werden konnte. Allerdings stellt sich auch bei diesen Ergebnissen die Frage, inwieweit unterschiedliche Verarbeitungsstufen zu einer Modulation der N1 Komponente beitragen. In einer gegenwärtig noch laufenden Studie in Kooperation mit Dr. Pieter Unema von der Universität Maastricht (Niederlande) soll eine erste Überprüfung in dieser Richtung vorgenommen werden. Basierend auf der unter 2.4.1 vorgeschlagenen Trennung der Verarbeitungsstufen anhand von Blickparametern, wird untersucht, ob sich in diesem Zusammenhang unterschiedliche Aktivierungen im Temporal- bzw. Parietallappen nachweisen lassen. Hinsichtlich der nachgewiesenen Verringerung des Effektes über die Zeit hinweg soll an dieser Stelle noch einmal darauf verwiesen werden, dass die Habituation einer OR (wie unter 2.6 dargestellt) bereits durch geringfügige Änderungen des erwarteten Reizes verhindert wird. Dabei bewirken z.B. zeitliche Schwankungen der Reizpräsentation eine erneute Verstärkung der OR (R. F. Thompson & Spencer, 1966), ein Faktor der bei dem vorliegenden Versuchsdesign möglicherweise maßgeblich zu einer Verhinderung ausgeprägterer Habituationseffekte beigetragen haben könnte. Obwohl stets ein festes Intervall in Bezug auf die Abfolge der vom Distraktor betroffenen Fixationen gewählt wurde, lassen sich zeitliche Verschiebungen aufgrund unterschiedlicher Fixationsdauern nicht vermeiden. Zusätzlich erschwerend für deutlichere Habituationseffekte könnte die Darbietung des natürlichen Bildmaterials mit verschiedenen Inhalten gewirkt haben, da wie von Gray (1975) und Wang (1995) betont wurde, Kontextänderungen ebenfalls zu einer Zunahme der OR beitragen.

Mit Hilfe der vierten Untersuchung im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnte demonstriert werden, dass das vorgestellte Versuchsdesign auch unter Einbeziehung neuropsychologischer Störungsbilder einen hilfreichen Beitrag zum Verständnis der Wirkmechanismen und Zusammenhänge von Aufmerksamkeitsprozessen und Blicksteuerung liefern kann. Die Untersuchung von Patienten mit verschiedenen Aufmerksamkeitsdefiziten bietet somit die Möglichkeit weitere Erkenntnisse über, an der Generierung von Augenbewegungen beteiligten, kortikale (z.B. FEF) und subkortikale Regionen (insbesondere SC) auf nicht-invasivem Wege zu gewinnen.

Die hier diskutierten Fragen bestätigen, dass sich ereignisbezogene Verlängerungen der visuellen Fixationsdauer durchaus mit dem Rahmenkonzept der OR in Verbindung bringen lassen. Dabei gilt es jedoch zu berücksichtigen, dass, obwohl es sich offenbar um eine Reaktion subkortikalen Ursprungs handelt, eine Reihe weiterer verschiedener Einflussfaktoren an der Modulation des Effektes beteiligt sind. Auf diesbezügliche Fragen und weiterführende Untersuchungen soll im Folgenden noch einmal genauer eingegangen werden.

# 7 AUSBLICK

Die vorliegende Arbeit hat dazu beigetragen, das Zusammenspiel der Faktoren, welche die Dauer visueller Fixationen beeinflussen, genauer zu charakterisieren. Dabei konnte gezeigt werden, dass offenbar auch bei einer relativ alltagsnahen Aufgabe wie der freien Bildbetrachtung externe Ereignisse einen entscheidenden Einfluss auf die Modulation der Fixationsdauer ausüben. Die gefundenen Ergebnisse scheinen wichtig vor dem Hintergrund, dass die Methode der Blickbewegungsregistrierung neben der Grundlagenforschung auch immer stärker an Bedeutung in Anwendungsbereichen gewinnt. Die geeignete Vorgehensweise zur Gewinnung weiterführender Erkenntnisse über zugrunde liegende Wirkmechanismen scheint dabei zunächst eine Reihe weiterer Untersuchungen in Laborsituationen zu sein, die sich in immer stärkerem Ausmaß an der Realität orientieren sollten. Eine breite Anwendung, wie z.B. der Einsatz in Fahrerassistenzsystemen in Fahrzeugen, wird erst sinnvoll, wenn Grundstrukturen bekannt sind (vgl. hierzu Velichkovsky et al., 2002).

Auf weiterführende Untersuchungsvorhaben zu diesem Themenkomplex soll deshalb an dieser Stelle kurz eingegangen werden.

Auf eine wesentliche Fragestellung in diesem Zusammenhang wurde unter 6 bereits eingegangen. Detailliertere Untersuchungen in Verbindung mit den verschiedenen Verarbeitungsstufen sind einerseits notwendig, um zu einem breiteren Verständnis über den Parameter der Fixationsdauer zu gelangen und andererseits die Entwicklung von Modellen erlauben, mit denen valide Aussagen auch außerhalb experimenteller Laborsituationen möglich sind. Ebenfalls bisher unberücksichtigt blieb, aufgrund technischer Beschränkungen, die Analyse der Blickpfade infolge der Darbietung von Distraktoren. Auch dafür erscheint die kombinierte Analyse des Distraktoreffektes im Zusammenhang mit unterschiedlichen Verarbeitungsstufen vielversprechend. Denkbar wäre beispielsweise eine Beeinflussung des Blickpfades im ambienten Modus, innerhalb dessen möglicherweise auch mit größerer Wahrscheinlichkeit eine Habituation deutlicher nachgewiesen werden kann. Distraktoren die während fokaler Verarbeitung erscheinen, sollten weniger die Richtung der nachfolgenden Sakkade und somit den folgenden Blickort beeinflussen, als vielmehr die korrekte Verarbeitung der aktuell wahrgenommen visuellen Information beeinträchtigen.

Ein Ansatz, der darüber hinaus verfolgt werden sollte, besteht in einer weiteren Überprüfung der Intermodalität des Distraktoreffektes. In dieser Arbeit konnten zwar bereits ähnliche Auswirkungen für visuelle und akustische Distraktoren nachgewiesen, aber eine weitere Überprüfung mit beispielsweise taktil dargebotenen Störreizen könnte weitere hilfreiche Erkenntnisse zum Verständnis des Phänomens

liefern. In diesem Zusammenhang wäre auch zu überprüfen, ob eine Variation der Intensitäten zu einer Annäherung der Ausprägung des Effektes über die Modalitäten hinweg führen kann. Bei den hier dargestellten Experimenten fand lediglich eine Veränderung der visuellen Distraktoren statt, während akustische in Bezug auf Frequenz und Lautstärke konstant gehalten wurden. Eine bessere Vergleichbarkeit der Wirkungsweise verschiedener Modalität wäre für die Interpretation der Ergebnisse wünschenswert und hilfreich.

Eine weitere Untersuchungsrichtung, die zum besseren Verständnis des Phänomens beitragen sollte, besteht in einer detaillierteren Analyse auf der Mikroebene. Um zu überprüfen, inwieweit das Konzept der OR im Zusammenhang mit dem beschriebenen Phänomen angemessen scheint, bietet sich die Analyse des Verhaltens innerhalb einzelner Fixationen bei der Darbietung von Distraktoren. Eine Möglichkeit stellt die kürzlich von Engbert und Kliegl (2003) vorgestellte Analyse von Mikrosakkaden dar. Unter der Annahme, dass es sich bei dem dargestellten Phänomen um eine Ausprägung der OR handelt, sollte auch eine Reduzierung der Aktivität der Mikrosakkaden nachweisbar sein. In diesem Zusammenhang könnte auch die Analyse der Aktivitäten bei langsamen Folgebewegungen hilfreiche Informationen liefern. Einerseits sollte dabei geklärt werden, ob Folgebewegungen prinzipiell unterbrochen werden, bzw. ob eine Veränderung innerhalb einer Folgebewegung erfasst werden kann.

Vor allem im Zusammenhang mit der bereits erwähnten Anwendung der Blickbewegungsregistrierung erscheint die Frage wichtig, inwieweit die Relevanz von Distraktoren den Effekt modulieren. Erst die Trennung der Auswirkungen relevanter und irrelevanter Distraktoren ermöglicht eine sinnvolle Analyse von Blickdaten beispielsweise beim Einsatz im Fahrzeug.

# LITERATURVERZEICHNIS


Andersen, R. A., Asanuma, C., & Cowan, W. M. (1985). Callosal and prefrontal associational projecting cell populations in area 7A of the macaque monkey: a study using retrogradely transported fluorescent dyes. *Journal of Comparative Neurology, 232*(4), 443-455.

Baizer, J. S., Ungerleider, L. G., & Desimone, R. (1991). Organization of visual inputs to the inferior temporal and posterior parietal cortex in macaques. *Journal of Neuroscience, 11*(1), 168-190.

Balota, D. A., Pollatsek, A., & Rayner, K. (1985). The Interaction of Contextual Constraints and Parafoveal Information in Reading. *Cognitive Psychology, 17*, 364-390.

Balota, D. A., & Rayner, K. (1991). Word recognition processes in foveal and parafoveal vision: the range of influence of lexical variables. In D. Besner & G. W. Humphreys (Eds.), *Basic Processes in Reading: Visual word recognition* (pp. 198–232). Hillsdale, NJ, England: Lawrence Erlbaum Associates.

Barbas, H., & Mesulam, M. M. (1981). Organization of afferent input to subdivisions of area 8 in the rhesus monkey. *Journal of Comparative Neurology, 200*(3), 407-431.

Barry, R. J., Cocker, K. I., Anderson, J. W., Gordon, E., & Rennie, C. (1992). Does the N100 evoked potential really habituate? Evidence from a paradigm appropriate to a clinical setting. *International Journal of Psychophysiology, 13*(1), 9-16.

Birbaumer, N., & Schmidt, R., F. (1991). *Biologische Psychologie*. Berlin: Springer Verlag.

Blair, R. C., & Karniski, W. (1993). An alternative method for significance testing of waveform difference potentials. *Psychophysiology, 30*(5), 518-524.

Blanchard, H. E., McConkie, G. W., Zola, D., & Wolverton, G. S. (1984). Time course of visual information utilization during fixations in reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 10*(1), 75-89.

Bridgeman, B., Van der Heijden, A. H. C., & Velichkovsky, B. M. (1994). A theory of visual stability across saccadic eye movements. *Behavioral and Brain Sciences, 17*(2), 247-292.

Bridgeman, B., Van der Heijden, A. H. C., & Velichkovsky, B. M. (1996). Relationship of saccadic suppression to space constancy. *Behavioural and Brain Sciences, 19*(3), 553-554.

Bruce, C. J., & Goldberg, M. E. (1985). Primate frontal eye fields. I. Single neurons discharging before saccades. *Journal of Neurophysiology, 53*, 603-635.

Bruce, C. J., Goldberg, M. E., Bushnell, M. C., & Stanton, G. B. (1985). Primate frontal eye fields. II. Physiological and anatomical correlates of electrically evoked eye movements. *Journal of Neurophysiology, 54*(3), 714-734.

Bruin, K. J., Kenemans, J. L., Verbaten, M. N., & Van der Heijden, A. H. C. (2000). Habituation: An event-related potential and dipole source analysis study. *International Journal of Psychophysiology, 36*(3), 199-209.

Buswell, G. T. (1935). *How people look at pictures*. Chicago: University of Chicago Press.

Carpenter, P. A., & Just, M. A. (1978). Eye fixation during mental rotation. In J. W. Senders, D. F. Fisher & R. A. Monty (Eds.), *Eye movements and the higher psychological functions* (pp. 115-133). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Carpenter, R. H. S. (1988). *Movements of the eyes*. London: Pion Limited.

Craik, F. I. M., & Lockhart, R. S. (1972). Levels of processing: A framework of memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 11*, 671-684.

Darby, D. G., Nobre, A. C., Thangaraj, V., Edelman, R., Mesulam, M. M., & Warach, S. (1996). Cortical activation in the human brain during lateral saccades using EPISTAR functional magnetic resonance imaging. *Neuroimage, 3*(1), 53-62.

De Graef, P. (1998). Prefixational object perception in scenes: Objects popping out of schemas. In G. Underwood (Ed.), *Eye guidance in reading and scene perception* (pp. 313-336). Oxford, UK: Elsevier.

De Graef, P., Christiaens, D., & d'Ydewalle, G. (1990). Perceptual effects of scene context on object identification. *Psychological Research, 52*, 317-329.

Deubel, H. (1994). Visuelle Verarbeitung und kognitive Faktoren bei der Generierung sakkadischer Augenbewegungen. In W. Prinz & B. Bridgeman (Eds.), *Wahrnehmung* (pp. 189-253). Goettingen: Hogrefe.

Deubel, H., Wolf, W., & Hauske, G. (1984). The evaluation of the oculomotor error signal. In A. G. Gale & F. Johnson (Eds.), *Theoretical and Applied Aspects of Eye Movement Research* (pp. 55-62). Amsterdam: Elsevier.

Diamond, M. R., Ross, J., & Morrone, M. C. (2000). Extraretinal control of saccadic suppression. *Journal of Neuroscience, 20*(9), 3449-3455.

Dias, E. C., & Segraves, M. A. (1999). Muscimol-induced inactivation of monkey frontal eye field: effects on visually and memory-guided saccades. *Journal of Neurophysiology, 81*(5), 2191-2214.

Dodge, R. (1900). Visual perception during eye movement. *Psychological Review, 7*, 454-465.

Dodge, R., & Cline, T. S. (1901). The angle velocity of eye movements. *Psychological Review, 8*(2), 145-157.

Dornhoefer, S. M., Pannasch, S., Velichkovsky, B. M., & Unema, P. J. A. (2000). "Attentional landscapes" and phasic changes of fixation duration in picture perception. *Perception, 29*, 11-12.

Engbert, R., & Kliegl, R. (2003). Microsaccades uncover the orientation of covert attention. *Vision Research, 43*(9), 1035-1045.

Figar, S. (1965). Conditional circulatory responses in men and animals. In W. F. Hamilton & P. Dow (Eds.), *Handbook of physiology* (Vol. 3, pp. 1991-2035). Washington D.C.: American Physiological Society.

Findlay, J. M. (1982). Global visual processing for saccadic eye movements. *Vision Research, 22*, 1033-1045.

Findlay, J. M., & Walker, R. (1999). A model of saccade generation based on parallel processing and competitive inhibition. *Behavioral and Brain Sciences, 22*(4), 661-721.

Fischer, B., & Boch, R. (1983). Saccadic eye movements after extremely short reaction times in the monkey. *Brain Research, 260*, 21-26.

Fischer, B., & Ramsberger, B. (1984). Human express saccades: Extremely short reaction times of goal directed eye movements. *Experimental Brain Research, 57*, 191-195.

Fischer, B., & Weber, H. (1993). Express saccades and visual attention. *Behavioral and Brain Sciences, 16*(3), 553-610.

Frens, M. A., & Van Opstal, A. J. (1998). Visual-auditory interactions modulate saccade-related activity in monkey superior colliculus. *Brain Research Bulletin, 46*(3), 211-224.

Frens, M. A., Van Opstal, A. J., & Van der Willigen, R. F. (1995). Spatial and temporal factors determine auditory-visual interactions in human saccadic eye movements. *Perception & Psychophysics, 57*(6), 802-816.

Friedman, A. (1979). Framing pictures: the role of knowledge in automatized encoding and memory for gist. *Journal of experimental psychology: General, 108*(3), 316-355.

Fuster, J. M. (1997). *The prefrontal cortex: Anatomy, physiology and neurophysiology of the frontal lobe*. Philadelphia: Lippincott-Raven.

Gerathewohl, S. J., Brown, E. L., Burke, J. E., Kimball, K. A., Lowe, W. F., & Strackhouse, S. P. (1978). Inflight measurement of pilot workload: A panel discussion. *Aviation, Space, and Environmental Medicine, 49*, 810-822.

Goldberg, M. E., & Bushnell, M. C. (1981). Behavioral enhancement of visual responses in monkey cerebral cortex. II. Modulation in frontal eye fields specifically related to saccades. *Journal of Neurophysiology, 46*(4), 773-787.

Goldberg, M. E., Eggers, H. M., & Gouras, P. (1991). The ocular motor system. In E. R. Kandel, J. H. Schwartz & T. M. Jessel (Eds.), *Principles of neural science* (3 ed., pp. 660-678). Norwalk CN: Appleton & Lange.

Goldberg, M. E., & Wurtz, R. H. (1972). Activity of superior colliculus in behaving monkey. I. Visual receptive fields of single neurons. *Journal of Neurophysiology, 35*(4), 542-559.

Graham, F. K., & Clifton, R. K. (1966). Heart-rate change as a component of the orienting resonse. *Psychological Bulletin, 65*(5), 305-320.

Gray, J. A. (1975). *Elements of a two-process theory of learning*. London: Academic Press.

Guitton, D., Buchtel, H. A., & Douglas, R. M. (1985). Frontal lobe lesions in man cause difficulties in suppressing reflexive glances and in generating goal-directed saccades. *Experimental Brain Research, 58*(3), 455-472.

Hanes, D. P., Patterson II, W. F., & Schall, J. D. (1998). Role of frontal eye fields in countermanding saccades: visual movement, and fixation activity. *Journal of Neurophysiology, 79*, 817–834.

Hanes, D. P., & Schall, J. D. (1996). Neural control of voluntary movement initiation. *Science, 274*, 427-430.

Henderson, J. M. (1997). Transsaccadic memory and integration during real-world object perception. *Psychological Science, 8*(1), 51-55.

Henderson, J. M., & Hollingworth, A. (1998). Eye movements during scene viewing. In G. Underwood (Ed.), *Eye guidance in reading and scene perception*. Amsterdam: Elsevier.

Henderson, J. M., & Hollingworth, A. (1999). High-level scene perception. *Annual Review of Psychology, 50*, 243-271.

Hikosaka, O., & Wurtz, R. H. (1989). The basal ganglia. In R. H. Wurtz & M. E. Goldberg (Eds.), *The Neurobiology of Saccadic Eye Movements* (pp. 257-282). Amsterdam: Elsevier.

Hoffman, J. E. (1996). Visual attention and Eye Movements. In H. Pashler (Ed.), *Attention*. London: University College London Press.

Hoffman, J. E. (1999). Stages of processing in visual search and attention. In B. H. Challis & B. M. Velichkovsky (Eds.), *Stratification in cognition and consciousness* (pp. 43-71). Amsterdam: John Benjamins Publishing Company.

Huerta, M. F., Krubitzer, L. A., & Kaas, J. H. (1986). Frontal eye field as defined by intracortical microstimulation in squirrel monkeys, owl monkeys, and macaque monkeys: I. Subcortical connections. *Journal of Comparative Neurology, 253*(4), 415-439.

Huerta, M. F., Krubitzer, L. A., & Kaas, J. H. (1987). Frontal eye field as defined by intracortical microstimulation in squirrel monkeys, owl monkeys, and macaque monkeys. II. Cortical connections. *Journal of Comparative Neurology, 265*(3), 332-361.

Huey, E. B. (1900). On the psychology and physiology of reading. I. *American Journal of Psychology, 11*(3), 283-302.

Hughes, H. C., Reuter-Lorenz, P. A., Nozawa, G., & Fendrich, R. (1994). Visual-auditory interactions in sensorimotor processing: Saccades versus manual responses. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 20*(1), 131-153.

Ingle, D. (1967). Two visual mechanisms underlying the behavior of fish. *Psychologische Forschung, 31*(1), 44-51.

Inhoff, A. W., & Radach, R. (1998). Definition and computation of occulomotor measures in the study of cognition. In G. Underwood (Ed.), *Eye guidance in reading and scene perception*. Amsterdam: Elsevier.

Javel, É. (1878). Essai sur la physiologie de la lecture. *Annales d'Oculistique*, 79, 97-117, 240-274.

Joos, M., Rötting, M., & Velichkovsky, B. M. (2002). Die Bewegungen des menschlichen Auges: Fakten, Methoden, innovative Anwendungen. In T. Herrmann, S. Deutsch & G. Rickheit (Eds.), *Handbuch der Psycholinguistik*. Berlin/NY: De Greyter.

Kadunce, D. C., Vaughan, J. W., Wallace, M. T., & Stein, B. E. (2001). The influence of visual and auditory receptive field organization on multisensory integration in the superior colliculus. *Experimental Brain Research, 139*(3), 303-310.

Kahneman, D. (1973). *Attention and Effort*. New Jersey: Prentice-Hall.

Karsh, R., & Breitenbach, F. W. (1983). Looking at the amorphous fixation measure. In R. Groner, C. Menz, D. F. Fisher & R. A. Monty (Eds.), *Eye movements and psychological functions*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Kenemans, J. L., Verbaten, M. N., Roelofs, J.-W., & Slangen, J. L. (1989). "Initial-" and "change-orienting reactions": An analysis based on visual single-trial event-related potentials. *Biological Psychology, 28*(3), 199-226.

Kennedy, A., Radach, R., Heller, D., & Pynte, J. (2000). *Reading as a perceptual process*. Amsterdam, Netherlands: North-Holland/Elsevier Science Publishers.

Kingstone, A., & Klein, R. M. (1993). What are human express saccades? *Perception & Psychophysics, 54*, 260-273.

Kolers, P. A. (1976). Buswell's discoveries. In R. A. M. J. W. Senders (Ed.), *Eye movements and psychological processes*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum.

Latto, R. (1977). The effects of bilateral frontal eye-field, posterior parietal or superior collicular lesions on brightness thresholds in the rhesus monkey. *Neuropsychologia, 15*(4-5), 507-516.

Latto, R., & Cowey, A. (1971a). Fixation changes after frontal eye-field lesions in monkeys. *Brain Research, 30*, 25–36.

Latto, R., & Cowey, A. (1971b). Visual field defects after frontal eye-field lesions in monkeys. *Brain Research, 30*(1), 1-24.

Lee, P. H., Helms, M. C., Augustine, G. J., & Hall, W. C. (1997). Role of intrinsic synaptic circuitry in collicular sensorimotor integration. *Proceedings of the National Academy of Science, U S A, 94*(24), 13299-13304.

Lévy-Schoen, A. (1969). Determination and latency of oculo-motor response to simultaneous and successive stimuli according to their relative eccentricity. *Annee Psychologique, 69*(2), 373-392.

Loftus, G. R., & Mackworth, N. H. (1978). Cognitive determinants of fixation location during picture viewing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Perfomance, 4*, 565-572.

Luna, B., Thulborn, K. R., Strojwas, M. H., McCurtain, B. J., Berman, R. A., Genovese, C. R., et al. (1998). Dorsal cortical regions subserving visually guided saccades in humans: an fMRI study. *Cerebral Cortex, 8*(1), 40-47.

Lynch, J. C., Graybiel, A. M., & Lobeck, L. J. (1985). The differential projection of two cytoarchitectonic subregions of the inferior parietal lobule of macaque upon the deep layers of the superior colliculus. *Journal of Comparative Neurology, 235*(2), 241-254.

Mackworth, N. H. (1965). Visual noise causes tunnel vision. *Psychonomic Science, 3*(2), 67-68.

Mannan, S., Ruddock, K. H., & Wooding, D. S. (1995). Automatic control of saccadic eye movements made in visual inspection of briefly presented 2-D images. *Spatial Vision, 9*(363-386).

Marx, J. (2002). *Der Distraktoreffekt: Optomotorischer Reflex oder Orientierungsreaktion*. Unpublished Diplomarbeit, Technische Universität Dresden, Dresden.

McConkie, G. W., & Rayner, K. (1975). The span of the effective stimulus during a fixation in reading. *Perception and Psychophysics, 17*(6), 578-586.

McConkie, G. W., Reddix, M. D., & Zola, D. (1992). Perception and cognition in reading: Where is the meeting point? In K. Rayner (Ed.), *Eye movements and visual cognition: scene perception and reading* (pp. 293-303). NY: Springer Verlag.

Milner, A. D., & Goodale, M.-A. (1995). *The visual brain in action*. Oxford, UK: Oxford University Press.

Miura, T. (1986). Coping with Situational Demands: A Study of Eye Movements and Peripheral Vision Performance. In A. G. Gale, M. H. Freeman, C. M. Haslegrave, P. Smith & S. P. Taylor (Eds.), *Vision in vehicles*. Amsterdam: Elsevier.

Munoz, D. P., & Istvan, P. J. (1998). Lateral inhibitory interactions in the intermediate layers of the monkey superior colliculus. *Journal of Neurophysiology, 79*(3), 1193-1209.

Munoz, D. P., & Wurtz, R. H. (1993a). Fixation cells in monkey superior colliculus, I. Characteristics of cell discharge. *Journal of Neurophysiology, 70*(2), 559-575.

Munoz, D. P., & Wurtz, R. H. (1993b). Fixation cells in monkey superior colliculus, II. Reversible activation and deactivation. *Journal of Neurophysiology, 70*(2), 576-589.

Munoz, D. P., & Wurtz, R. H. (1995a). Saccade-related activity in monkey superior colliculus. I. Characteristics of burst and buildup cells. *Journal of Neurophysiology, 73*, 2313-2333.

Munoz, D. P., & Wurtz, R. H. (1995b). Saccade-related activity in monkey superior colliculus. II. Spread of activity during saccades. *Journal of Neurophysiology, 73*, 2334-2348.

Neisser, U. (1967). *Cognitive psychology*. New York: Appleton-Century-Crofts.

Nelson, W. W., & Loftus, G. R. (1980). The functional visual field during picture viewing. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning & Memory, 6*(4), 391-399.

O'Driscoll, G. A., Alpert, N. M., Matthysse, S. W., Levy, D. L., Rauch, S. L., & Holzman, P. S. (1995). Functional neuroanatomy of antisaccade eye movements investigated with positron emission tomography. *Proceedings of the National Academy of Science, U S A, 92*(3), 925-929.

O'Keefe, J., & Nadel, L. (1978). *The Hippocampus as a Cognitive Map*. Oxford: Clarendon Press.

O'Regan, J. K., Deubel, H., Clark, J. J., & Rensink, R. A. (2000). Picture Changes During Blinks: Looking Without Seeing and Seeing Without Looking. *Visual Cognition, 7*(1-3), 191-211.

O'Regan, J. K., Rensink, R. A., & Clark, J. J. (1999). Change-blindness as a result of "mudsplashes." *Nature, 398*(6722), 34.

Oster, P. J., & Stern, J. A. (1980). Measurement of eye movements - Electrooculography. In I. Martin & P. H. Venables (Eds.), *Techniques in psychophysiology*. Chichester: Wiley.

Pannasch, S., Dornhoefer, S. M., Unema, P. J. A., & Velichkovsky, B. M. (2001). The omnipresent prolongation of visual fixations: saccades are inhibited by changes in situation and in subject's activity. *Vision Research, 41*(25-26), 3345-3351.

Paus, T. (1996). Location and function of the human frontal eye-field: a selective review. *Neuropsychologia, 34*(6), 475-483.

Pavlov, I. P. (1927). *Conditioned reflexes: an investigation of the physiological activity of the cerebral cortex*. Oxford: Oxford University Press.

Petit, L., Orssaud, C., Tzourio, N., Crivello, F., Berthoz, A., & Mazoyer, B. (1996). Functional anatomy of a prelearned sequence of horizontal saccades in humans. *Journal of Neuroscience, 16*(11), 3714-3726.

Ravden, D., & Polich, J. (1998). Habituation of P300 from visual stimuli. *International Journal of Psychophysiology, 30*(3), 359-365.

Rayner, K. (1978). Eye movements in reading and information processing. *Psychological Bulletin, 85*(3), 618-660.

Rayner, K. (1982). Visual selection in reading, picture perception and visual search. In H. Bouma & D. G. Bouwhuis (Eds.), *Attention and performance X*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin, 124*(3), 372-422.

Rayner, K., & Pollatsek, A. (1989). *The psychology of reading*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.

Reingold, E. M., & Stampe, D. (2000). Saccadic inhibition and gaze contigent research paradigms. In A. Kennedy, R. Radach, D. Heller & J. Pynte (Eds.), *Reading as a Perceptual Process* (pp. 1-26): Elsevier Science Ltd.

Reuter-Lorenz, P. A., Hughes, H. C., & Fendrich, R. (1991). The reduction of saccadic latency by prior offset of the fixation point: An analysis of the gap effect. *Perception & Psychophysics, 49*, 383-387.

Robinson, D. A. (1972). Eye movements evoked by collicular stimulation in the alert monkey. *Vision Research, 12*(11), 1795-1808.

Romero, R., & Polich, J. (1996). P3(00) habituation from auditory and visual stimuli. *Physiology & Behavior, 59*(3), 517-522.

Ross, L. E., & Ross, S. M. (1980). Saccade latency and warning signals: Stimulus onset, offset, and change as warning events. *Perception & Psychophysics, 27*(3), 251-257.

Ross, S. M., & Ross, L. E. (1981). Saccade latency and warning signals: Effects of auditory and visual stimulus onset and offset. *Perception & Psychophysics, 29*(5), 429-437.

Rust, J. (1977). Habituation and the orienting response in the auditory cortical evoked potential. *Psychophysiology, 14*(2), 123-126.

Saida, S., & Ikeda, M. (1979). Useful visual field size for pattern perception. *Perception & Psychophysics, 25*(2), 119-125.

Saslow, M. G. (1967). Saccade latency and warning signals: Stimulus onset, offset and change as warning events. *Journal of the Optical Society of America, 57*, 1024-1029.

Schall, J. D. (1991). Neuronal activity related to visually guided saccades in the frontal eye fields of rhesus monkeys: comparison with supplementary eye fields. *Journal of Neurophysiology, 66*(2), 559-579.

Schall, J. D. (1997). Visuomotor areas of the frontal lobe. In K. S. Rockland, A. Peters & J. H. Kaas (Eds.), *Cerebral cortex: extrastriate cortex of primates* (Vol. 12, pp. 527–638). New York: Plenum Press.

Schall, J. D., Morel, A., & Kaas, J. H. (1993). Topography of supplementary eye field afferents to frontal eye field in macaque: implications for mapping between saccade coordinate systems. *Visual Neuroscience, 10*(2), 385-393.

Schall, J. D., Morel, A., King, D. J., & Bullier, J. (1995). Topography of visual cortical afferents to frontal eye field in macaque: convergence and segregation of processing streams. *Journal of Neuroscience, 15*, 4464–4487.

Schiller, P. H., & Chou, I.-h. (1998). The effects of frontal eye field and dorsomedial frontal cortex lesions on visually guided eye movements. *Nature Neuroscience, 1*, 248 - 253.

Schiller, P. H., Sandell, J. H., & Maunsell, J. H. (1987). The effect of frontal eye field and superior colliculus lesions on saccadic latencies in the rhesus monkey. *Journal of Neurophysiology, 57*(4), 1033-1049.

Schiller, P. H., True, S. D., & Conway, J. L. (1980). Deficits in eye movements following frontal eye-field and superior colliculus ablations. *Journal of Neurophysiology, 44*(6), 1175-1189.

Schlag-Rey, M., Schlag, J., & Dassonville, P. (1992). How the frontal eye field can impose a saccade goal on superior colliculus neurons. *Journal of Neurophysiology, 67*(4), 1003-1005.

Schneider, G. E. (1967). Contrasting visuomotor functions of tectum and cortex in the golden hamster. *Psychologische Forschung, 31*(1), 52-62.

Schneider, G. E. (1969). Two visual systems. *Science, 163*(870), 895-902.

Segraves, M. A. (1992). Activity of monkey frontal eye field neurons projecting to oculomotor regions of the pons. *Journal of Neurophysiology, 68*(6), 1967-1985.

Segraves, M. A., & Goldberg, M. E. (1987). Functional properties of corticotectal neurons in the monkey's frontal eye field. *Journal of Neurophysiology, 58*(6), 1387-1419.

Shook, B. L., Schlag-Rey, M., & Schlag, J. (1990). Primate supplementary eye field: I. Comparative aspects of mesencephalic and pontine connections. *Journal of Comparative Neurology, 301*(4), 618-642.

Sokolov, E. N. (1960). Neuronal models and the orienting reflex. In M. A. B. Brazier (Ed.), *The central nervous system and behaviour* (pp. 187-276). Madison: Madison Printing.

Sokolov, E. N. (1963). *Perception and conditionned reflex*. London: Pergamon Press.

Sommer, M. A., & Tehovnik, E. J. (1997). Reversible inactivation of macaque frontal eye field. *Experimental Brain Research, 116*(2), 229-249.

Sommer, M. A., & Wurtz, R. H. (2000). Composition and topographic organization of signals sent from the frontal eye field to the superior colliculus. *Journal of Neurophysiology, 83*, 1979–2001.

Sparks, D. L., & Hartwich-Young, R. (1989). The deep layers of the superior colliculus. In R. H. Wurtz & M. E. Goldberg (Eds.), *The Neurobiology of Saccadic Eye Movements* (pp. 213-256). Amsterdam: Elsevier.

Stager, P., & Angus, R. G. (1978). Locating crash sites in simulated air-to-ground visual search. *Human Factors, 20*(4), 453-466.

Stampe, D. M., & Reingold, E. M. (2002). Influence of stimulus characteristics on the latency of saccadic inhibition. *Progress in Brain Research, 140*, 73-87.

Stanton, G. B., Bruce, C. J., & Goldberg, M. E. (1993). Topography of projections to the frontal lobe from the macaque frontal eye fields. *Journal of Comparative Neurology, 330*, 286–301.

Stanton, G. B., Goldberg, M. E., & Bruce, C. J. (1988a). Frontal eye field efferents in the macaque monkey: I. Subcortical pathways and topography of striatal and thalamic terminal fields. *Journal of Comparative Neurology, 271*(4), 473-492.

Stanton, G. B., Goldberg, M. E., & Bruce, C. J. (1988b). Frontal eye field efferents in the macaque monkey: II. Topography of terminal fields in midbrain and pons. *Journal of Comparative Neurology, 271*(4), 493-506.

Stein, B. E., Meredith, M. A., Huneycutt, W. S., & McDade, L. (1989). Behavioral indices of multisensory integration: Orientation to visual cues is affected by auditory stimuli. *Journal of Cognitive Neuroscience, 1*(1), 12-24.

Thompson, K. G., Bichot, N. P., & Schall, J. D. (2000). From attention to action in frontal cortex. In J. Braun, C. Koch & J. Davis (Eds.), *Visual Attention and Cortical Circuits* (pp. 137-157). Cambridge: MIT Press.

Thompson, R. F., & Spencer, W. A. (1966). Habituation: a model phenomenon for the study of neuronal substrates of behavior. *Psychological Review, 73*(1), 16-43.

Trevarthen, C.-B. (1968). Two Mechanisms of Vision in Primates. *Psychologische Forschung, 31*(4), 299-337.

Turpin, G. (1983). Unconditioned reflexes and the autonomic nervous system. In D. Siddle (Ed.), *Orienting and habituation: Perspectives in human research*. London: Wiley.

Underwood, G. (1998). *Eye guidance in reading and scene perception*. Oxford, England: Elsevier Science Ltd.

Unema, P. J. A. (1995). *Eye Movements and Mental Effort*. Shaker, TU Berlin.

Unema, P. J. A., Dornhoefer, S. M., Steudel, S., & Velichkovsky, B. M. (2001). An attentive look at driver's fixation duration. In A. G. Gale, I. D. Brown, C. M. Haslegrave & S. P. Taylor (Eds.), *Vision in Vehicles-VIII*. Amsterdam: Elsevier Science Ltd.

Unema, P. J. A., & Rötting, M. (1990). Differences in eye movements and mental workload be-tween experienced and inexperienced motor-vehicle drivers. In D. Brogan (Ed.), *Visual search*. London: Taylor & Francis.

Ungerleider, L., & Mishkin, M. (1982). Two cortical visual systems. In D. J. Ingle, M. A. Goodale & R. J. W. Mansfield (Eds.), *Analysis of visual behavior* (pp. 549-586). Cambridge, MA: MIT Press.

Van Diepen, P. M. J., de Graef, P., & d'Ydewalle, G. (1995). Chronometry of foveal information extraction during scene perception. In J. M. Findlay, R. Walker & R. W. Kentridge (Eds.), *Eye Movement Research: Mechanisms, Processes, and Applications* (pp. 349-362). New York: Elsevier.

Velichkovsky, B. M. (1999). From levels of processing to stratification of cognition: Converging evidence from three domains of research. In B. H. Challis & B. M. Velichkovsky (Eds.), *Stratification in cognition and consciousness* (pp. 203-235). Amsterdam, Netherlands: John Benjamins Publishing Company.

Velichkovsky, B. M. (2001). Levels of processing: Validating the concept. In M. Naveh-Benjamin, M. Moscovitch & H. L. Roediger III (Eds.), *Perspectives on Human Memory and Cognitive Aging: Essays in Honour of Fergus I.M. Craik*. Philadelphia: Psychology Press.

Velichkovsky, B. M., Dornhoefer, S., Pannasch, S., & Unema, P. J. A. (2000). Visual fixations and level of attentional processing. In A. Duhowski (Ed.), *Eye Tracking Research & Applications*. Palm Beach Gardens, NY: ACM Press.

Velichkovsky, B. M., Dornhoefer, S. M., Pannasch, S., & Rothert, A. (2002). Wenn Raum Gefahren in sich birgt: Fahrverhalten in einer virtuellen Umgebung. *Wissenschaftliche Zeitschrift der TU-Dresden, 51*(4-5), 83-87.

Velichkovsky, B. M., Pomplun, M., & Rieser, H. (1996). Attention and communication: Eye-movement-based research paradigms. In W. H. Zangemeister, H. S. Stiel & C. Freksa (Eds.), *Attention and Cognition*. Amsterdam: Elsevier.

Velichkovsky, B. M., Rothert, A., Kopf, M., Dornhoefer, S. M., & Joos, M. (2002). Towards an express diagnostics for level of processing and hazard perception. *Transportation Research, Part F, 5*(2), 145-156.

Velichkovsky, B. M., Sprenger, A., & Pomplun, M. (1997). Auf dem Weg zur Blickmaus: Die Beeinflussung der Fixationsdauer durch kognitive und kommunikative Aufgaben. In R. Liskowsky, B. M. Velichkovsky & W. Wünschmann (Eds.), *Usability Engineering*. Stuttgart: Teubner.

Velichkovsky, B. M., & Van der Heijden, A. H. C. (1994). Space as reference signal? Elaborate it in-depth! *Behavioral and Brain Sciences, 17*(2), 337-338.

Verbaten, M. N., Roelofs, J. W., Sjouw, W., & Slangen, J. L. (1986). Habituation of early and late visual ERP components and the orienting reaction: The effect of stimulus information. *International Journal of Psychophysiology, 3*(4), 287-298.

Verleger, R. (1988). Event-related potentials and cognition: A critique of the context updating hypothesis and an alternative interpretation of P3. *Behavioral & Brain Sciences, 11*(3), 343-356.

Verleger, R. (1998). Toward an integration of P3 research with cognitive neuroscience. *Behavioral and Brain Sciences, 21*(1), 150-152.

Walker, R., Deubel, H., Schneider, W. X., & Findlay, J. M. (1997). Effect of remote distractors on saccade programming: Evidence for an extended fixation zone. *Journal of Neurophysiology, 78*, 1108-1119.

Walker, R., Kentridge, R. W., & Findlay, J. M. (1995). Independent contributions of the orienting of attention, fixation offset and bilateral stimulation on human saccadic latencies. *Experimental Brain Research, 103*, 294-310.

Wallace, M. T., Meredith, M. A., & Stein, B. E. (1998). Multisensory integration in the superior colliculus of the alert cat. *Journal of Neurophysiology, 80*(2), 1006-1010.

Wallace, M. T., & Stein, B. E. (1996). Sensory organization of the superior colliculus in cat and monkey. *Progress in Brain Research, 112*, 301-311.

Wang, D. (1995). Habituation. In M. Arbib (Ed.), *The handbook of brain theory and neural networks* (pp. 441-444). Cambridge: MIT Press.

Yarbus, A. L. (1967). *Eye movements and vision* (L. A. Riggs, Trans.). New York: Plenum Press.

Young, L. R., & Sheena, D. (1975). Survey of eye movement recording methods. *Behavior Research Methods, Instruments and Computers, 7*(5), 397-429.

# ABBILDUNGSVERZEICHNIS


Abb. 2-1: Schematische Darstellung der an der Generierung sakkadischer Augenbewegungen beteiligten zentralnervösen Strukturen (Darstellung nach Deubel, 1994 [MT = mittleres temporales Areal, MST = mittleres oberes temporales Areal, SN = Substantia nigra pars reticulata, NC = Nucleus caudatus]). ..... 8

Abb. 2-2: „Die Welle“, Farbholzschnitt von Katsushika Hokusai (oben); Abtastmuster bei der Betrachtung des Bildes (unten, Buswell, 1935). ..... 16

Abb. 2-3: Schematische Diagramm des visuellen Feldes. Darstellung des reziproken Effektes von Sakkadenlatenz und Sakkadenamplitude in Abhängigkeit von der Distraktorposition (aus Walker et al., 1997). ..... 22

Abb. 2-4: Aktuelle Fixationsdauer relativ zur Distraktordarbietung in Abhängigkeit von der Distraktormodalität (aus Pannasch et al., 2001). ..... 25

Abb. 2-5: Häufigkeitsverteilung der Fixationsdauern (Fixationsdauer minus SOA [*Stimulus Onset Asynchrony*]) für (a) SOA 100 und (b) SOA 300. ..... 26

Abb. 5-1: Beispiele für Stimulusbilder. ..... 33

Abb. 5-2: Struktur des Versuchsablaufs (F = Fixation; S = Sakkade). ..... 34

Abb. 5-3: Fixationsdauern in Abhängigkeit von der Distraktordarbietung für alle Versuchsbedingungen zusammengefasst relativ zu Fixation -2. ..... 38

Abb. 5-4: (a) Häufigkeitsverteilungen der Fixationen mit bzw. ohne Distraktor; (b) Differenzkurve der beiden Häufigkeitsverteilungen; (c) grafische Darstellung der resultierenden t-Statistiken für die einzelnen Messzeitpunkte (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms). ..... 40

Abb. 5-5: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms). ..... 41

Abb. 5-6: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms). ..... 42

Abb. 5-7: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms). ..... 42

Abb. 5-8 Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms). ..... 43

Abb. 5-9: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms). ..... 44

Abb. 5-10: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms). ..... 44

Abb. 5-11: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests für visuelle Distraktoren vs. *baseline* für alle Distraktorlatenzen (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms). ..... 47

Abb. 5-12: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests für akustische Distraktoren vs. *baseline* für alle Distraktorlatenzen (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms). ..... 48

Abb. 5-13: Differenzen der Fixationsdauer zur *baseline* für die jeweiligen Distraktorlatenzen getrennt nach Modalitäten. 50

Abb. 5-14: Fixationsdauern in Abhängigkeit von der Distraktordarbietung relativ zu Fixation -2. 54

Abb. 5-15: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests, jeweils für die experimentellen Bedingungen vs. *baseline* (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms). 55

Abb. 5-16: Differenzlinien der Fixationsdauern der experimentellen Bedingungen relativ zur *baseline* (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms). 56

Abb. 5-17: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests für Distraktoren auf festen Positionen vs. relativ zum Fixationsort (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms). 57

Abb. 5-18: Fixationsdauerdifferenzen getrennt nach den Bedingungen für die einzelnen Bilder. 58

Abb. 5-19: Fixationsdauerdifferenzen getrennt nach den Bedingungen für die einzelnen Bilder. 59

Abb. 5-20: Fixationsdauerdifferenzen getrennt nach den Bedingungen für einzelne Distraktorgruppen pro Bild. 60

Abb. 5-21: Fixationsdauerdifferenzen getrennt nach den Bedingungen für einzelne Distraktorgruppen pro Bild. 60

Abb. 5-22. Die Ableitpositionen des 10-20 Systems. 64

Abb. 5-23: Fixationsdauern für die unterschiedlichen Modalitäten pro Block relativ zu Fixation -2. 66

Abb. 5-24: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests bei Block und Block 2 im Vergleich zur *baseline* (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms). 67

Abb. 5-25: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests bei Block und Block 2 im Vergleich zur *baseline* (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms). 68

Abb. 5-26: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests für Bild 1 und 2 sowie für Bild 10 und 11 (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms). 69

Abb. 5-27: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests für Bild 1 und 2 sowie Bild 10 und 11 (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms) 69

Abb. 5-28: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests für die ersten und die letzten fünf Distraktoren pro Bild (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms) 70

Abb. 5-29: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests für die ersten und die letzten fünf Distraktoren pro Bild (Klassenbreite der Fixationsdauer 12 ms) 70

Abb. 5-30: Fixationsdauerdifferenzen getrennt nach Modalitäten für die einzelnen Blöcke. 72

Abb. 5-31: Fixationsdauerdifferenzen getrennt nach Modalitäten jeweils für Bild 1 und Bild 11 73

Abb. 5-32: Fixationsdauerdifferenzen getrennt nach Modalitäten jeweils für den ersten und letzten Distraktor pro Bild. 74

Abb. 5-33: EKP's an den Ableitpositionen t3, t4, o1 und o2 für den visuellen Distraktor und die *baseline.* ..... 75

Abb. 5-34: EKP's an den Ableitpositionen t3, t4, o1 und o2 für den akustischen Distraktor und die *baseline.* ..... 76

Abb. 5-35: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests der EKP's für den Vergleich zwischen Bild 1 und der *baseline.* ..... 77

Abb. 5-36: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests für die EKP's für den Vergleich zwischen Bild 1 und Bild 11. ..... 78

Abb. 5-37: Verteilung der t-Werte der gepaarten t-Tests für die EKP's für den Vergleich zwischen Distraktor 1 und Distraktor 20 pro Bild. ..... 78

Abb. 5-38: Fixationsdauern für die verschiedenen Distraktorpositionen bei Versuchsreihe 1 relativ zu Fixation -1. ..... 83

Abb. 5-39: Fixationsdauern für die verschiedenen Distraktorpositionen bei Versuchsreihe 2 relativ zu Fixation –1 (Durchgang 1). ..... 84

Abb. 5-40: Fixationsdauern für die verschiedenen Distraktorpositionen bei Versuchsreihe 2 relativ zu Fixation –1 (Durchgang 2). ..... 84

# TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 5-1: Beispieldarstellung der Berechnungsmethode nach Blair und Karniski (1993) für ein Wertepaar (E=Experimentalbedingung, K=Kontrollbedingung). ..... 39

Tabelle 5-2: Mediane und Differenzen der Fixationsdauern (ms), Ergebnisse der t-Tests für jede Bedingung. ..... 45

Tabelle 5-3: Median, 25. und 75. Perzentil der Differenzverteilungen (ms), sowie Anzahl der Fälle. ..... 46

Tabelle 5-4: Mediane und Differenzen der Fixationsdauern (ms) für visuelle und akustische Distraktoren bei den verschiedenen Distraktorlatenzen und zugehörige Ergebnisse der t-Tests. ..... 49

# Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Die vorliegende Arbeit wurde am Institut für Arbeits-, Organisations- und Sozialpsychologie, an der Professur für Ingenieurpsychologie und Kognitive Ergonomie der Technischen Universität Dresden unter der wissenschaftlichen Betreuung von Prof. Dr. phil. habil. Boris M. Velichkovsky angefertigt.

Die Promotionsordnung der Fakultät Mathematik und Naturwissenschaften vom 20. März 2000 erkenne ich an.

Dresden, den 12.06.2003

Sebastian Pannasch