



universität  
wien

# Diplomarbeit

Titel der Arbeit

EEG-Untersuchung zu den Effekten  
von Aufmerksamkeitsverlagerungen auf Sakkaden  
unter Berücksichtigung bedingter Aufmerksamkeit.

Verfasserin

Hanna Sieczka

Angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, im Mai 2013

Studienkennzahl: 298

Studienrichtung: Psychologie

Betreuer: Dr. Ulrich Ansorge



*All jenen, die mir auf dieser Odyssee zu den Abgründen meiner Psyche mit dem  
einzig wirksamen Gegenmittel – Geduld – begegnet sind.*

*Meinen Eltern, für den mir eingepflanzten Mut zum Kampf gegen Windmühlen.*

*Vor allen anderen aber Fabian:*

*Ohne Dich blieben viele Projekte – wohl auch dieses hier – unvollendet.*

*Danke für die Kraft, die Du mir tagtäglich gibst!*



## **Zusammenfassung**

In der vorliegenden Arbeit wurde eine Untersuchung zu den Auswirkungen der verdeckten Aufmerksamkeitsverlagerung auf die Ausführung von Sakkaden unter Berücksichtigung der Theorie der bedingten Aufmerksamkeit bei der Auswahl von visuellen Reizen durchgeführt. Mit einem Dual-Task-Paradigma wurden dabei zwei Fragestellungen untersucht. Eine Detektionsaufgabe sollte die bedingte Aufmerksamkeit bei visuellen Aufgaben überprüfen. Von Interesse war, ob bei der Aufgabebearbeitung relevante Reize gegenüber irrelevanten bevorzugt wurden. Ein EEG wurde abgeleitet. Bei aufgabenrelevanten Reizen wurde eine N2pc als Aufmerksamkeitskomponente erwartet. Eine Sakkadenaufgabe sollte klären, ob die Verlagerung der verdeckten Aufmerksamkeit zu einem Ziel die Verlagerung der offenen Aufmerksamkeit zum selben Ziel hin begünstigte. Mit einem Eyetracker wurden Sakkaden bezüglich ihrer Geschwindigkeit und Genauigkeit erfasst. Bei einer validen Reizdarstellung wurden kürzere Sakkadenlatenzen erwartet. Die Annahmen zur Detektionsaufgabe konnten bestätigt werden. Eine N2pc wurde zwar sowohl bei aufgabenrelevanten als auch bei irrelevanten Reizen beobachtet, jedoch war diese auf relevante Reize hin deutlich stärker ausgeprägt. Dies wurde als Hinweis auf eine zielorientierte Reizverarbeitung im Sinne der bedingten Aufmerksamkeit interpretiert. Die Annahmen zur Sakkadenaufgabe konnten nicht bestätigt werden. Eine valide Reizdarstellung führte zu besonders langen Sakkadenlatenzen mit einer hohen Genauigkeit. Eine mögliche Erklärung hierfür könnte in zu langen Inter-Stimulus-Intervallen zwischen den vorgegebenen Reizen und einer daraus resultierenden Rückkehrhemmung von Sakkaden liegen. Eine Verringerung der Sakkadengeschwindigkeit zu Gunsten deren Genauigkeit im Sinne eines speed-accuracy trade-offs ist ebenfalls denkbar.

*Schlagwörter:* verdeckte Aufmerksamkeit, offene Aufmerksamkeit,

Aufmerksamkeitsverlagerung, bedingte Aufmerksamkeit, Sakkade, EEG, N2pc.



## **Abstract**

In the present study we investigated the impact of covert attentional shifts on saccades, also respecting the theory of contingent capture. Within a dual-task-paradigma we wanted to answer two questions. Initiating with a detection task, we tested the contingent capture theory for the selection of visual stimuli. According to the theory, stimuli that were relevant for solving the task should be preferred over irrelevant stimuli. An EEG was recorded and we expected to observe an N2pc in the presence of taskrelevant stimuli as a component of attention. Second, a saccade task should clarify, if a covert attentional shift had a positive impact on the overt attentional shift towards the same target. With an eyetracker we measured the latency and the accuracy of saccadic eye movements. We expected shorter saccadic latencies while showing valid cue-target-displays. We could confirm our theory concerning the detection task. Although we observed an N2pc in the presence of both relevant and irrelevant stimuli, it was more significant in the relevant condition. We interpreted this as a sign for top-down contingent capture processing of visual information. Our theory concerning the saccade task could not be confirmed. When presenting valid stimuli, the saccades were especially long but also particularly accurate. We see a possible explanation in too long inter-stimulus-intervals between the presented stimuli resulting in a saccadic inhibition of return. Also, a lower saccadic speed for an improved performance in saccadic accuracy as postulated by the speed-accuracy trade-off theory seems possible.

*Keywords:* covert attention, overt attention, attention shifts, contingent capture, saccade, EEG, N2pc.



## Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b> .....	<b>11</b>
Aufmerksamkeitsverlagerung: offene und verdeckte Form.....	12
Verdeckte und offene Aufmerksamkeitsverlagerung: gemeinsames System oder unabhängige Funktionsweise?.....	14
Aufmerksamkeitsforschung und Neurophysiologie.....	20
N2pc.....	22
Bedingte Aufmerksamkeit als Ausdruck zielorientierter Verarbeitung.....	25
<b>Untersuchung</b> .....	<b>28</b>
Methode.....	28
Untersuchungsteilnehmende.....	30
Stimuli.....	31
Instrumente, Datenaufzeichnung und Analyse.....	32
Ergebnisse.....	37
Cue-Differenzierung im EEG.....	37
EEG-Ergebnisse zur Detektionsaufgabe.....	38
EEG-Ergebnisse zur Sakkadenaufgabe.....	40
Eyetracking-Ergebnisse.....	44
<b>Diskussion</b> .....	<b>48</b>
Zur Detektionsaufgabe.....	48
Zur Sakkadenaufgabe.....	50
Literaturverzeichnis.....	55
Tabellenverzeichnis.....	63
Abbildungsverzeichnis.....	65
Curriculum Vitae.....	67



## Einleitung

Die Fülle an Reizen, mit welcher ein Mensch in seinem visuellen Umfeld konfrontiert wird, nach wesentlichen Informationen für die erfolgreiche Bewältigung von Aufgaben abzusuchen, stellt eine grundlegende Fähigkeit des visuellen Systems von Primaten dar (Hopf, Luck, Girelli, Hagner, Mangun, Scheich & Heinze, 2000). Um die Abläufe hinter einem solchen visuellen Auswahlverfahren zu studieren, werden häufig visuelle Suchaufgaben angewandt. In diesen gilt es, aus einer Gesamtmenge präsentierter Elemente die visuelle Aufmerksamkeit auf ein im Vorhinein festgelegtes Ziel zu lenken (Hopf et al., 2000). Eine der frühesten Untersuchungen zur Steuerung der visuellen Aufmerksamkeit findet man bei Helmholtz (1896). In einem Experiment instruierte er die Teilnehmenden, ihren Blick auf einen bestimmten Punkt eines Zeitungsblattes zu fixieren. Gleichzeitig sollten sie aber ihre Aufmerksamkeit auf Stellen außerhalb des Fixationsbereiches richten, ohne dabei die Augen zu bewegen. Das Zeitungsblatt wurde kurz beleuchtet. Helmholtz (1896) beobachtete, dass die Teilnehmenden Begriffe aus jenen Bereichen wieder geben konnten, welche sie zwar nicht anvisiert, jedoch mit Aufmerksamkeit bedacht hatten. Begriffe aus dem direkt anvisierten Bereich hingegen wurden schlechter erinnert. Aus diesen Ergebnissen zog Helmholtz (1896) den Schluss, dass es seinen Teilnehmenden möglich war, die Aufmerksamkeit willentlich zu den Außenzonen des Fixationsbereiches zu lenken und so auch Inhalte zu erkennen, welche nicht direkt angesehen wurden. Helmholtz (1896) hatte damit als Erster gezeigt, dass es für die Verlagerung der visuellen Aufmerksamkeit zum interessierenden Ort nicht zwingend expliziter Augenbewegungen bedarf und somit den Grundstein für die Erforschung der Prozesse hinter der Steuerung visueller Aufmerksamkeit gelegt.

### **Aufmerksamkeitsverlagerung: offene und verdeckte Form**

In der heutigen Forschung zu visuellen Aufmerksamkeitsprozessen werden zwei Arten von Aufmerksamkeit unterschieden, welche sich einem bestimmten Ort im Gesichtsfeld zuwenden können. Zum einen gibt es die Möglichkeit, einen im zentralen Gesichtsfeld gelegenen Gegenstand direkt an zu sehen. Diese Art der visuellen Aufmerksamkeit wird als offene Aufmerksamkeit bezeichnet (Carrasco, 2011; Filali-Sadouk, Castet, Olivier & Zenon, 2010; Posner & Rothbart, 2007). Zum anderen kann ein Objekt, welches sich in der Peripherie des Gesichtsfeldes befindet, ebenso ohne direktes Anvisieren mit Aufmerksamkeit bedacht werden. In diesem Zusammenhang wird von der verdeckten Aufmerksamkeit gesprochen (Carrasco, 2011; Filali-Sadouk, Castet, Olivier & Zenon, 2010; Posner & Rothbart, 2007). Beide Aufmerksamkeitsarten können von einem Punkt im Gesichtsfeld zum nächsten verlagert werden.

Als Ausdruck der offenen Aufmerksamkeitsverlagerung lassen sich, wie etwa in einer Untersuchung von Deubel und Schneider (1996), Sakkaden, also schnelle Bewegungen der Augen, welche sowohl spontan als auch zielgerichtet vorgenommen werden können und von kurzen Unterbrechungen gekennzeichnet sind, aufzeichnen. Um Zusammenhänge zwischen den beiden Formen der Aufmerksamkeitsverlagerung zu untersuchen, werden häufig so genannte Dual-Task-Paradigmen verwendet, wie zum Beispiel bei Deubel und Schneider (1996) oder Rizzolatti, Riggio, Dascola und Umiltá (1987). Solche Untersuchungsdesigns stellen die Probanden vor die Anforderung, zwei Aufgaben nahezu zeitgleich aus zu führen, wobei diese jeweils an die unterschiedlichen Arten der Aufmerksamkeitsverlagerung, die verdeckte oder die offene, gerichtet sind. Eine Schlüsselrolle spielen dabei die verwendeten Reize. Diesbezüglich wird zwischen Hinweisreizen und Zielreizen differenziert, welche im englischsprachigen Raum auch als „cue“ und „target“ bezeichnet werden (Deubel & Schneider, 1996). Ein Hinweisreiz ist dabei für die Voraktivierung von Aufmerksamkeit an

einem bestimmten Ort im Gesichtsfeld verantwortlich und signalisiert somit das vermeintliche Ziel der Aufmerksamkeitszuwendung. Ein solcher Hinweisreiz soll in der Regel von den Probanden indirekt, also ohne gewollte Blickzuwendung, wahrgenommen werden, um eine verdeckte Aufmerksamkeitsverlagerung ein zu leiten. Ein Zielreiz hingegen, welcher nach dem Hinweisreiz gezeigt wird, kennzeichnet nun das tatsächliche Ziel für die Aufmerksamkeitszuwendung im Gesichtsfeld. In anderen Worten zeigt er also das Ziel für die motorische Umsetzung von Aufmerksamkeit an, welche in Form der bereits erwähnten Sakkaden zum Ausdruck kommt. Der Zielreiz provoziert somit die offene Aufmerksamkeitsverlagerung. Werden nun Hinweisreiz und Zielreiz an ein und derselben Position dargestellt, spricht man von validen Reizen. Erscheint der Zielreiz an einem anderen Ort im Gesichtsfeld wie der zuvor gezeigte Hinweisreiz, wird dies als nicht valide Reizdarbietung bezeichnet (Deubel & Schneider, 1996). Es zeigt sich immer wieder, dass bei valider Darstellung von Hinweisreiz und Zielreiz eine besonders effiziente Reizverarbeitung statt findet (Deubel & Schneider, 1996; Hoffman & Subramaniam, 1995; Zelinsky, Rao, Hayhoe & Ballard, 1997). Anders ausgedrückt, scheint die Verlagerung der verdeckten Aufmerksamkeit an einen bestimmten Ort begünstigende Auswirkungen auf die Verlagerung der offenen Aufmerksamkeit zum selben Ort hin zu haben. Solche Untersuchungsergebnisse sprechen für gemeinsame Mechanismen als Grundlage beider Aufmerksamkeitsarten.

### **Verdeckte und offene Aufmerksamkeitsverlagerung: gemeinsames System oder unabhängige Funktionsweise?**

Für das Verständnis verdeckter und offener Verlagerung von Aufmerksamkeit als gekoppeltes System spielt die Prämotortheorie der Aufmerksamkeit von Rizzolatti et al. (1987) eine wesentliche Rolle. Entsprechend dieser Theorie bedarf es für eine jede Sakkade motorischer Vorbereitung. Diese passiert während der verdeckten Verlagerung von Aufmerksamkeit. Ein motorisches Programm, mithilfe dessen anschließend die tatsächliche Augenbewegung, die offene Verlagerung der Aufmerksamkeit also, ausgeführt werden kann, wird noch während der verdeckten Verlagerung bereitgestellt. Während es möglich ist, dass die Sakkade zwar derart vorbereitet, jedoch nicht ausgeführt wird, weil die Aufmerksamkeit durch andere Inhalte abgelenkt wird und somit die Verlagerung der verdeckten ohne anschließender Verlagerung der offenen Aufmerksamkeit statt findet, wird der umgekehrte Fall ausgeschlossen. Die Fähigkeit zur Ausführung einer Sakkade ohne vorangehende motorische Vorprogrammierung und somit zur Verlagerung der offenen Aufmerksamkeit ohne zuvor vorgenommene Verlagerung jener verdeckten wird nicht angenommen. Diese Schlüsse zogen Rizzolatti et al. (1987) aus einem Experiment, welches den Teilnehmenden über einen PC-Bildschirm dargeboten wurde. Zunächst war eine leere Fixationsbox in der Bildschirmmitte samt vier zur Verfügung stehenden Stimulusboxen mit der Nummerierung von 1 bis 4 zu sehen. Danach erschien die Fixationsbox alleine, diesmal mit einer Zahl von 1 bis 4 gefüllt. Hierbei handelte es sich um den entsprechenden Hinweisreiz, in welcher der zuvor gezeigten Stimulusboxen mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Zielreiz zu sehen sein würde. Die Teilnehmenden sollten zwar ihre Aufmerksamkeit auf die betreffende Stimulusbox richten, weiterhin aber die Fixationsbox anvisieren. Eine verdeckte Verlagerung der Aufmerksamkeit sollte also provoziert werden. Alternativ wurde auch die Zahl 0 gezeigt, womit die verdeckte Aufmerksamkeit auf alle vier Stimulusboxen gleichermaßen zu richten

war. Im Folgenden erschien in einer der vier Stimulusboxen eine geometrische Form als Zielreiz. Auf diesen sollten die Teilnehmenden, ungeachtet dessen räumlicher Position, so schnell wie möglich über das Drücken einer festgelegten Taste auf der PC-Tastatur reagieren. Als Messgröße wurden die Reaktionszeiten erhoben. Bei der Auswertung wurde zwischen validen und nicht validen Durchgängen unterschieden (jene mit der Zahl 0 eingeleiteten Durchgänge schufen neutrale Versuchsbedingungen). Von validen Durchgängen wurde gesprochen, wenn die durch den Zielreiz angekündigte Stimulusbox und die geometrische Form tatsächlich dieselbe Position innehatten. Bei nicht validen Durchgängen erschien die geometrische Form in einer anderen Stimulusbox, als jener zuvor durch den Hinweisreiz angekündigten. Bei validen Durchgängen konnten Rizzolatti et al. (1987) signifikant schnellere Reaktionszeiten der Probanden beobachten. Daraus schlossen sie, dass die Vorbereitung der Aufmerksamkeitsausrichtung und die Programmierung von Sakkaden nicht auf unabhängig von einander funktionierende Systeme zurück zu führen sind, sondern gemeinsamen Kontrollmechanismen unterliegen.

Weitere Hinweise auf den Zusammenhang zwischen der Ausführung von Augenbewegungen und der vorangegangenen Ausrichtung von Aufmerksamkeit wurden unter anderem auch durch Deubel und Schneider (1996) geliefert. In dieser Untersuchung wurden abermals zwei Anforderungen an die Probanden kombiniert. Zum einen sollte eine zielorientierte Sakkade zu einem vorherbestimmten Ort am PC-Bildschirm vollzogen werden, zum anderen im Rahmen einer Diskriminationsaufgabe aus einer Reihe von Symbolen ein gewisser Reiz erkannt werden. Dazu wurde den Teilnehmenden im ersten Schritt ein Fixationskreuz in der Bildschirmmitte mit davon links und rechts waagrecht gereihten digitalen Symbolen gezeigt (je fünf). Die jeweils drei zentralen dieser Symbole waren mit farblich markierten Ellipsen in Rot, Grün und Blau umrandet. Danach erschien in der Bildschirmmitte an Stelle des Fixationskreuzes ein buntes Dreieck, welches den Hinweisreiz

für das Sakkadenziel darstellte. So sollte zum Beispiel bei einem blauen, nach rechts weisenden Dreieck eine Sakkade zur blauen Ellipse in der rechten Symbolreihe vorbereitet werden. Die tatsächliche Ausführung der Sakkade hatte jedoch erst später zu erfolgen. Davor verschwand das Hinweisdreieck und in den waagrechten Symbolreihen links und rechts der Bildschirmmitte erschienen nun Buchstaben, wovon es sich bis auf einen um Disktraktoren handelte. Der eine Buchstabe hingegen, der Diskriminationsreiz, hatte die Form eines E oder eines  $\exists$ . Als die zuvor vorbereitete Sakkade nun im nächsten Schritt ausgeführt werden sollte, verschwanden auch die Buchstaben und es waren nur mehr die bunten Ellipsen zu sehen.

Abschließend sollte noch mittels PC-Tastatur die Form des Diskriminationsreizes - E oder  $\exists$  - rückgemeldet werden. Die Ergebnisse von Deubel und Schneider (1996) konnten die Prämotortheorie der Aufmerksamkeit (Rizzolatti et al., 1987) untermauern. Nicht nur konnte gezeigt werden, dass die Objekterkennung dann am besten war, wenn das Auge auf jenes Objekt gerichtet wurde, welches auch erkannt werden sollte, in anderen Worten also das Ziel für die Sakkade und der Diskriminationsreiz die selbe Position am Bildschirm inne hatten.

Auch nahm diese Leistung dann deutlich ab, wenn sich das Sakkadenziel und der Diskriminationsreiz an unterschiedlichen Stellen befanden. Zusätzlich fanden Deubel und Schneider (1996) Hinweise darauf, dass eine solche gekoppelte Funktionsweise visueller Aufmerksamkeitszuwendung und der Ausführung von Sakkaden eine strikte ist. Dazu wurde den Teilnehmenden eine etwas abgewandelte Form des oben beschriebenen Experiments vorgegeben. Der Unterschied bestand darin, dass der Diskriminationsreiz nun immer in der Mitte der vom Hinweisfeil angezeigten Buchstabenreihe erschien und die Teilnehmenden entsprechende Information über die Abänderung erhielten. Dies sollte die visuelle Konzentration auf das Sakkadenziel erleichtern. Selbst unter diesen Bedingungen und mit der gegebenen Vorinformation war es den Teilnehmenden nicht möglich, die Ausrichtung der visuellen Aufmerksamkeit auf einen Ort zu lenken, gleichzeitig aber eine Sakkade zu einem

anderen Ort vor zu bereiten. Dieses Ergebnis spricht für die bereits erwähnte nicht nur wahrscheinliche, sondern scheinbar strikte Koppelung von Aufmerksamkeitsverlagerung und Programmierung von Sakkaden sowohl in zeitlicher als auch in räumlicher Hinsicht (Deubel & Schneider, 1996) und schließt die Fähigkeit zur unabhängigen Funktionsweise der beiden Prozesse aus.

Nicht alle Studien im Bereich der Aufmerksamkeitsforschung bekräftigen eine solche Wechselwirkung zwischen Aufmerksamkeitsprozessen und deren motorischer Umsetzung und somit zwischen verdeckter und offener Aufmerksamkeit. Manche Ergebnisse lassen durchaus den Schluss zu, dass die Ausrichtung visueller Aufmerksamkeit und die Vorbereitung von Sakkaden zwar auf gemeinsame funktionelle als auch neuronale Mechanismen zugreifen, diese Verbindung aber keine zwingende ist. Zwei Beispiele dazu sollen im Folgenden genauer erläutert werden.

Juan, Shorter-Jacobi und Schall (2004) führten zur Untersuchung der Zusammenhänge zwischen Aufmerksamkeitsprozessen und Augenbewegungen ein Experiment mit Affen durch. Zum einen wurden den Tieren peripher gelegene Farbreize gezeigt, welche verdeckte Aufmerksamkeit auslösen sollten. Zum anderen wurde das frontale Augenfeld der Affen, jener Kortexbereich also, welcher für die Steuerung der Augenmuskulatur als verantwortlich betrachtet wird, mittels magnetischer Mikrostimulation erregt. Auf diesem Wege wurden künstliche Sakkaden erzeugt, welche von jenem zuvor gezeigten Farbreiz ablenken sollten. Juan et al. (2004) postulierten nun, dass bei funktioneller Äquivalenz von verdeckter Aufmerksamkeit und der Ausführung von Sakkaden entsprechende Abweichungen in der Laufbahn der durch die Mikrostimulation herbeigeführten Sakkade in Richtung des Zieles der verdeckten Aufmerksamkeit fest zu stellen seien sollten. Da die künstlich erzeugten Sakkaden aber keiner solchen Irritation unterlagen, erlauben die Ergebnisse laut Juan et al. (2004) eine

unabhängige Interpretation von verdeckter Aufmerksamkeit und der Ausführung von Sakkaden.

Henik, Rafal und Rhodes (1994) untersuchten Personen mit Beeinträchtigungen im Bereich des frontalen Augenfeldes. Die Teilnehmenden sollten zum einen Sakkaden sowohl in das im Verhältnis zur Beeinträchtigung contralateral gelegene Blickfeld als auch in jenes ipsilateral gelegene vollziehen. Dabei handelte es sich einerseits um reflexartige, andererseits um gezielte Sakkaden. Personen mit Beeinträchtigungen des frontalen Augenfeldes reagierten im Vergleich zur Kontrollgruppe langsamer bei gezielt vollzogenen Sakkaden zum contralateralen Blickfeld und bei reflexartigen Sakkaden zum ipsilateralen Blickfeld. Um die Beziehung zwischen Sakkadenvorbereitung und verdeckter Aufmerksamkeit zu untersuchen, wurde zum anderen ein zweites Experiment durchgeführt, bei welchem es als Reaktion auf dargebotene Reize Tasten zu drücken gab. Wenn die Teilnehmenden im Zuge dieser Aufgabe durch vorangegangene Hinweisreize mit Zusatzinformation bezüglich der Blickfeldseite, in welcher der Zielreiz erscheinen würde, versorgt wurden, gab es keine Unterschiede zwischen Versuchsgruppe und Kontrollgruppe. Da die Teilnehmenden mit Beeinträchtigungen des frontalen Augenfeldes zwar Defizite bei der Ausführung von Sakkaden zeigten, aber keine Probleme bei der Aufgabe zur verdeckten Aufmerksamkeit hatten, lassen die Ergebnisse von Henik et al. (1994) eine zwingende neuronale Koppelung von verdeckter und offener Aufmerksamkeit als fragwürdig erscheinen.

Aus der kontroversen Diskussion um die Qualität der Beziehung zwischen visueller Aufmerksamkeit und der Ausführung von Sakkaden entwickelt sich die erste von zwei Fragestellungen der vorliegenden Diplomarbeit:

- Teilen verdeckte und offene Aufmerksamkeitsverlagerungen gemeinsame Kontrollmechanismen und begünstigt somit die Verlagerung der verdeckten Aufmerksamkeit zu einem bestimmten Ort die Verlagerung der offenen Aufmerksamkeit zum selben Ort?

Diese Fragestellung wurde im Rahmen der im Methodenteil genauer beschriebenen Sakkadenaufgabe bearbeitet. In Anlehnung an die Arbeit von Deubel und Schneider (1996) wird in diesem Zusammenhang angenommen, dass bei valider Reizdarbietung die Sakkadenlatenzen entsprechend kürzer sein sollten als bei nicht valider Darbietung. Mit Sakkadenlatenz ist dabei jene Zeit gemeint, welche ab dem Darbietungszeitpunkt eines Reizes bis zur Ausführung der Sakkade als Reaktion auf den gebotenen Reiz hin verstreicht. Genauere Informationen zu den herangezogenen Sakkadenlatenzen finden sich im Methodenteil.

## **Aufmerksamkeitsforschung und Neurophysiologie**

Wie bereits erwähnt, lässt sich die Verlagerung der offenen Aufmerksamkeit anhand von Augenbewegungen erfassen. Der Zugang zur verdeckten Aufmerksamkeit ist komplexer, da es für deren Verlagerung keine direkt beobachtbare Manifestierung gibt. Häufig werden in diesem Zusammenhang neurophysiologische Messmethoden wie etwa die Elektroenzephalographie (EEG) verwendet, um über die Aktivität des Gehirnes Rückschlüsse auf Prozesse verdeckter Aufmerksamkeitsverlagerung zu ziehen. Zwei Kortextbereiche jeweils beider Hemisphären spielen dabei eine Schlüsselrolle, nämlich das frontale und das posterior-parietale Zentrum (Posner & Dehaene, 1994). Sie erzeugen Verlagerungen verdeckter Aufmerksamkeit in contralateraler Richtung zum Reiz und überschneiden sich in neuroanatomischer Hinsicht erheblich mit den frontalen und den parietalen Augenfeldern, welche wiederum für die Ausführung von Sakkaden von Bedeutung sind (Wauschkuhn, Verleger, Wascher, Klostermann, Burk, Heide & Kömpf, 1998). Eine zum relevanten Reiz contralateral gelegene Ausrichtung der verdeckten Aufmerksamkeit konnte in vielen EEG-Studien beobachtet werden. Van der Lubbe und Woestenburg (1997) zeigten im Rahmen ihrer Untersuchung jeweils sechs waagrecht angeordnete Symbole, wovon es sich bei fünf um sogenannte Distraktoren (also ablenkende, irrelevante Reize) in Form eines Plus (+) handelte. Das sechste Symbol hingegen, der Zielreiz, wurde von einem unvollständigen Plus dargestellt. Diesem fehlte entweder der obere oder der untere vertikal ausgerichtete Balken. Der Zielreiz befand sich immer innerhalb der drei Symbole links oder rechts der markierten Bildschirmmitte und wurde jedes Mal korrekt von einem Hinweisreiz angekündigt. Es gab also nur valide Reizdarstellungen. Van der Lubbe und Woestenburg (1997) variierten neben dem zeitlichen Abstand zwischen Hinweisreiz und Zielreiz (100 vs. 300 ms) auch die Entfernung des Zielreizes zur Bildschirmmitte ( $0.7^\circ$  vs.  $3.1^\circ$ ). Für die Teilnehmenden galt, die Augen so wenig wie möglich zu bewegen und per Druck der entsprechenden Taste die Art

des Zielreizes rück zu melden. Mit der EEG-Aufzeichnung konnten Van der Lubbe und Woestenburg (1997) contralateral zu den relevanten Reizen eine stärkere neuronale Reaktion zeigen als in ipsilateraler Hinsicht. Diese äußerte sich in einer negativen Spitze etwa 240 Millisekunden nach Auftauchen des Zielreizes unabhängig von der gewählten Versuchsbedingung. Allerdings war die hinsichtlich Reaktionszeit und Genauigkeit beurteilte behaviorale Leistung, also die Rückmeldung bezüglich des Zielreizes über die PC-Tastatur, umso besser, je länger der Zeitabstand zwischen Hinweisreiz und Zielreiz war und je näher der Zielreiz an der Bildschirmmitte gelegen war. Van der Lubbe und Woestenburg (1997) interpretierten die beobachtete negative Ausprägung im EEG als Ausdruck von Neuorientierung der Aufmerksamkeitsressourcen. Girelli und Luck (1997) testeten in einer visuellen Suchaufgabe die neuronale Reaktion auf Zielreize unterschiedlicher Eigenschaften, kategorisiert nach Farbe, Form und Bewegungsrichtung. Dazu zeigten sie den Teilnehmenden acht Reize in vier verschiedenen Darstellungsvarianten. Glichen sich alle Reize bezüglich ihrer Farbe (grün), ihrer Form (senkrechter Balken) sowie der Bewegungsrichtung (nach unten), war eine homogene Darstellung zu sehen. Alternativ gab es drei Darstellungsformen, in denen einer der acht Reize hinsichtlich einer Eigenschaft (Farbe, Form oder Bewegungsrichtung) abweichend präsentiert wurde. Hierbei handelte es sich um so genannte Singleton-Darstellungen, also Reizeanordnungen mit einem hervorstechenden Reiz. Die vier unterschiedlichen Reizdarstellungen wurden über einen PC-Bildschirm in zufälliger Reihenfolge gleichverteilt dargeboten. Vor jedem Durchgang wurde den Teilnehmenden mitgeteilt, auf welche Singleton-Art (abweichende Form, Farbe, oder Bewegungsrichtung) zu achten und mittels PC-Tastatur zu reagieren war. Dabei sollte auf die gefragte Singleton-Art, also auf Zielreize folgend, eine andere Taste gedrückt werden als in Folge der Darstellungen mit irrelevanten Singleton-Arten. Die Singleton-Darstellungen wurden so kombiniert, dass jede Singleton-Art im Laufe der Untersuchung sowohl als Zielreiz als auch als irrelevanter

Reiz dargeboten wurde. Auch die EEG-Aufzeichnungen von Girelli und Luck (1997) konnten eine verhältnismäßig stärkere negative Ausprägung in der contralateral zum Zielreiz gelegenen Hemisphäre nachweisen. Diese Beobachtung wurde unabhängig von der Art des Singletons (abweichend durch Form, Farbe, oder Bewegungsrichtung), welcher jeweils als Zielreiz festgelegt wurde, gemacht. Eine schwächere, aber vergleichbare neuronale Reaktion wurde allerdings auch dann aufgezeichnet, wenn jene durch Bewegung definierten Singletons als irrelevante Reize gezeigt wurden, was bei Form- und Farb-Singletons in der irrelevanten Rolle nicht der Fall war. Aus diesen Ergebnissen schlossen Girelli und Luck (1997), dass zwar alle drei Zielreizarten, charakterisiert durch Form, Farbe oder Bewegung, dieselben Mechanismen von Aufmerksamkeit aktivieren, Reize aber, welche sich durch Bewegung auszeichnen, automatisch und unabhängig von deren Relevanz zu einer Aufmerksamkeitsaktivierung führen.

Jene in diesen zwei Beispielstudien sowie anderen ähnlichen Untersuchungen beobachtete contralaterale und negative Ausprägung im EEG als Reaktion auf relevante Reize hin wird häufig als N2pc bezeichnet. Da sie für die Interpretation der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit wesentlich war, soll die N2pc im Folgenden genauer erläutert werden.

**N2pc.** Unter der N2pc wird eine Komponente in der Elektroenzephalographie verstanden, welche im Zusammenhang mit Aufmerksamkeitsprozessen auftritt. Sie lässt sich gut im Rahmen visueller Suchaufgaben beobachten, in denen relevante Reize, welche mit Aufmerksamkeit bedacht werden sollen, zusammen mit Distraktoren vorgegeben werden (Van Velzen & Eimer, 2003). Dabei taucht die N2pc im posterioren Bereich des Kopfes auf, jenem Bereich, wo auch der visuellen Kortex zu finden ist. Dort ist sie häufig im V4 zu verzeichnen (Luck, Girelli, McDermott & Ford, 1997), einem höheren Areal des visuellen Kortex, welches neben zahlreichen auf Farbanalyse spezialisierten Zellen auch solche für räumliche Orientierung und räumliches Sehen enthält. Charakteristisch ist die bereits

erwähnte contralaterale Ausrichtung der N2pc zum zu berücksichtigenden Reiz (Kiss, Van Velzen & Eimer, 2008). Befindet sich der Ort der angestrebten Aufmerksamkeit also im rechten Gesichtsfeld, so wird bei entsprechenden Aufgaben eine N2pc in der linken Hemisphäre verzeichnet und umgekehrt. Das Zeitfenster für eine N2pc lässt sich auf 180 bis 290 Millisekunden nach Darbietung des Reizes, welcher die Aufmerksamkeit auf sich ziehen soll, festlegen (Hopf et al., 2000). Die Namensgebung für die beschriebene EEG-Komponente ist auf Luck und Hillyard (1994a, 1994b) zurück zu führen und leitet sich aus den zum Teil eben erwähnten Eigenschaften der EEG-Komponente ab. „N“ steht dabei für die negative Polarität, in deren Form sich die N2pc zeigt. Sie zählt zu einer Reihe unterschiedlicher, negativ ausgeprägter Komponenten ereigniskorrelierter Potentiale, welche unter dem Gruppennamen N2 oder auch N200 zusammengefasst werden. Charakteristisch für solche Komponenten sind deren negative Spitzen etwa 180 bis 325 Millisekunden nach der Reizdarbietung (Patel & Azzam, 2005), was die Zwei in der Benennung der N2pc erklärt. Das „pc“ schlussendlich bedeutet „posterior contralateral“ und beschreibt die bereits geschilderte contralaterale Lokalisierung der N2pc im Verhältnis zum relevanten Reiz und zwar im posterioren Bereich des Kortex. Die dort platzierten Elektroden verzeichnen demnach im Gegensatz zu jenen auf der ipsilateral zum Reiz gelegenen Hemisphäre eine verhältnismäßig stark ausgeprägte, negative Amplitude des EEG-Signals. Luck und Hillyard (1994a, 1994b) konnten zeigen, dass die N2pc nicht gebildet wird, wenn entweder nur ein zu betrachtender Reiz dargeboten wird, oder aber die Aufmerksamkeit auf alle präsentierten Reize verteilt werden muss. So schlussfolgerten sie, dass die N2pc Ausdruck eines Selektionsprozesses ist, welcher es ermöglicht, von der Bearbeitung der Aufgabe ablenkende Reize zu ignorieren. Die Bedeutung der N2pc im Zusammenhang mit Aufmerksamkeitsprozessen wurde seither in zahlreichen Experimenten untersucht. Eimer (1996) zeichnete im Zuge von visuellen Unterscheidungsaufgaben ereigniskorrelierte Potentiale auf, wobei er den Zielreiz für die

visuelle Aufmerksamkeit zum einen mit drei Distraktoren, zum anderen mit nur einem Distraktor zusammen präsentierte. In diesem Experiment zeigte er, dass die N2pc auch in jener Situation aufgezeichnet werden konnte, in der lediglich ein einzelner irrelevanter Reiz vom Zielreiz ablenkte, in der es also um eine „Entweder-oder“ Entscheidung ging. Mit diesen Ergebnissen argumentierte Eimer (1996), dass die N2pc nicht nur Ausdruck einer Reizselektion im Sinne vom Filtern irrelevanter Reize ist, wie ursprünglich von Luck und Hillyard (1994a, 1994b) formuliert, sondern vielmehr ein Zeichen von aktiver Auswahl aufgabenrelevanter Reize. Auch in der Untersuchung von Kiss et al. (2008) zur räumlichen Orientierung konnte in Gegenwart von Zielreizen eine N2pc aufgezeichnet werden. Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass die N2pc dann auftritt, wenn bei der Lösung einer Aufgabe zielorientiert vorgegangen wird.

Die Frage, ob bei der Verarbeitung visueller Informationen reizgesteuerte oder zielorientierte Mechanismen zum Tragen kommen, wurde im Forschungskontext zur visuellen Aufmerksamkeit in den vergangenen Jahren häufig untersucht. Dabei zeichneten sich zwei gegensätzlich gepolte Meinungsextremen ab. Auf der einen Seite steht die Theorie einer rein durch Reize gesteuerten Verarbeitung des visuellen Umfelds (Theeuwes, 1994; Theeuwes, Reimann & Mortier, 2006). Entsprechend dieser Ansicht werden zunächst jene Objekte im Blickfeld mit Aufmerksamkeit bedacht, welche aufgrund ihrer physischen Beschaffenheit am deutlichsten hervorstechen, wobei eine solche physische Auffälligkeit häufig als Salienz eines Objektes bezeichnet wird (Itti & Koch, 2001). Die Auswahl der visuellen Inhalte, welche aufmerksam wahrgenommen und somit vom sensorischen System zur Weiterverarbeitung bevorzugt werden, ist also von der Aufgabenstellung selbst unabhängig. Im englischsprachigen Raum wird die reizgesteuerte Verarbeitung visueller Inhalte auch als „bottom-up“ gesteuerte Verarbeitung bezeichnet. Auf der anderen Seite steht die Theorie der bedingten Aufmerksamkeit (Folk, Remington & Johnston, 1992; Folk, Remington & Wright,

1994). Die Lenkung der Aufmerksamkeit auf ausgewählte visuelle Inhalte wird nach dieser Theorie nicht ausschließlich durch die physische Reizbeschaffenheit gesteuert, sondern ist primär von den Aufgabenbedingungen, von jenem Ziel also, welches es zu erreichen gilt, bestimmt. Welche Objekte mit Aufmerksamkeit bedacht werden, unterliegt demnach viel stärker der Kontrolle des sehenden Individuums. Im englischsprachigen Raum ist diese Art, Gesehenes zu verarbeiten als „top-down“ gesteuerte Verarbeitung bekannt. Da sich die zweite Fragestellung der vorliegenden Diplomarbeit mit der bedingten Aufmerksamkeit bei visuellen Aufmerksamkeitsprozessen beschäftigt, soll diese im Folgenden näher erläutert werden.

### **Bedingte Aufmerksamkeit als Ausdruck zielorientierter Verarbeitung**

Die Theorie einer bedingten Aufmerksamkeit bei visuellen Aufgaben wurde erstmals von Folk et al. (1992) im Rahmen eines Experiments zur räumlichen Aufmerksamkeit beschrieben. Über einen PC-Bildschirm wurden dabei im Zuge eines Durchgangs zwei Anzeigen in unmittelbarem zeitlichem Abstand (150 ms) präsentiert. Die erste Anzeige enthielt einen Hinweisreiz, die zweite einen Zielreiz. Die Darstellung der Zielanzeige bestand aus vier Elementen, wovon drei gleich und eines – der Zielreiz – abweichend gestaltet waren. Die Aufgabe an die Teilnehmenden lautete, das andersartige Element zu erkennen und mittels PC-Tastatur rückzumelden. Folk et al. (1992) hatten in ihrem Experiment zwei Varianten von Zielanzeigen eingearbeitet, wobei zwischen einer Farb-Zielanzeige und einer „onset“-Zielanzeige unterschieden wurde. Bei der Farb-Zielanzeige war der Zielreiz rot gekennzeichnet, die anderen drei Elemente waren weiß. Bei der onset-Zielanzeige wurde nur ein einzelner Reiz dargestellt. Der Zielreiz zeichnete sich also in dieser Bedingung dadurch aus, das einzige Element mit einem plötzlichen Beginn (onset) zu sein. Die Hinweisanzeigen enthielten ebenfalls zwei Darstellungsvarianten und wurden nach demselben Prinzip unterschieden. Bei der Farb-Hinweisanzeige wurde der Hinweisreiz mit roten Punkten markiert, die anderen drei Elemente mit weißen Punkten. Bei der onset-Hinweisanzeige

wurde der einzeln präsentierte Hinweisreiz mit weißen Punkten markiert, die anderen drei potentiellen Elementpositionen blieben leer. Es wurden sowohl valide als auch nicht valide Durchgänge gezeigt. Gemessen wurden die Reaktionszeiten bei der Rückmeldung über den Zielreiz. Reaktionszeitverkürzende Effekte einer validen Reizdarstellung konnten von Folk et al. (1992) nur dann festgestellt werden, wenn sich Hinweisreiz und Zielreiz in ihrer Charakteristik glichen. Lautete also die Aufgabe, auf Farb-Zielreize zu achten, so verkürzten nur valide Farb-Hinweisreize die Reaktionszeiten, nicht aber valide onset-Hinweisreize. Sollten hingegen onset-Zielreize rückgemeldet werden, wurden die Reaktionszeiten durch valide onset-Hinweisreize verkürzt, nicht aber durch valide Farb-Hinweisreize. In anderen Worten waren die Hinweisreize lediglich dann in der Lage, die Richtung der Aufmerksamkeit zu lenken, wenn sie den Zielreizen gleichende, also aufgabenrelevante Merkmale verkörperten. Die Ergebnisse von Folk et al. (1992) sprechen für die bereits erwähnte zielgesteuerte und somit bedingte Auswahl jener Inhalte im Gesichtsfeld, welche bei der Bearbeitung visueller Aufgaben mit Aufmerksamkeit bedacht werden.

Die Theorie der bedingten Aufmerksamkeit konnte in zahlreichen weiteren Experimenten gestützt werden (Ansorge, Horstmann & Carbone, 2005; Folk & Remington, 2006; Pratt, Sekuler & McAuliffe, 2001) und soll im Zusammenhang mit visuellen Aufmerksamkeitsprozessen ebenfalls in der vorliegenden Diplomarbeit untersucht werden.

Die zweite Fragestellung lautet folglich:

- Ist bei der Verarbeitung visueller Inhalte eine Reizselektion im Sinne bedingter Aufmerksamkeit beobachtbar, sodass bei der Verlagerung der verdeckten Aufmerksamkeit jene Reize bevorzugt werden, welche für die Lösung der Aufgabe Relevanz besitzen?

Wie bereits erläutert, lässt sich mittels EEG als Ausdruck von Selektion aufgabenrelevanter Reize die als N2pc bezeichnete Komponente aufzeichnen. Bei der vorliegenden Diplomarbeit wurde die N2pc als Messgröße herangezogen, um mögliche Effekte der bedingten Aufmerksamkeit auf die verdeckte Aufmerksamkeitsverlagerung zu untersuchen. Ausgehend von der bereits beschriebenen zielgesteuerten Verarbeitung visueller Inhalte, sollten demnach bei der Verlagerung der verdeckten Aufmerksamkeit jene für die erfolgreiche Lösung der vorgelegten Aufgabe relevanten Reize mit einer höheren Aufmerksamkeit bedacht werden als die irrelevanten. Im EEG sollte es also während der Präsentation relevanter Reize zur Bildung einer N2pc kommen, während dieselbe Komponente bei irrelevanten Reizen ausbleiben sollte. Diese Fragestellung wurde im Rahmen der im Methodenteil genauer beschriebenen Detektionsaufgabe bearbeitet.

## Untersuchung

### Methode

Den Untersuchungsteilnehmenden wurde mit Hilfe eines Computerbildschirms ein Dual-Task-Paradigma dargeboten, auf das es entsprechend der vorangegangenen Instruktion sowohl visuell, in Form von gezielter Blicklenkung, als auch manuell, über die Computertastatur gefragte Antworten eingebend, zu reagieren galt. Allen Teilnehmenden wurde vor der eigentlichen Testung die Möglichkeit geboten, sich in einer zeitlich individuell gestalteten Übungsphase mit den Anforderungen der Aufgabenstellung vertraut zu machen. So war also die Anzahl der Übungsdurchgänge, welche eine teilnehmende Person benötigte, um die in der vorgelegten Aufgabe gefragten Fertigkeiten aus eigener Sicht zu beherrschen, frei variierbar. Während die teilnehmenden Personen im Laufe der Übungsphase von den Untersuchungsleitenden eine Rückmeldung über die Richtigkeit der gegebenen Antworten bekamen, blieb eine solche Resonanz bei der Testung selbst aus. Die Testphase umfasste 640 Durchgänge pro Person. Vor jedem Durchgang gab es zunächst eine Startanzeige am Computerbildschirm mit einem Fixationskreuz in der Mitte zu sehen. Ein Durchgang konnte von den Untersuchungsteilnehmenden jeweils durch das Drücken der Leertaste auf der Tastatur gestartet werden, sobald diese dafür bereit waren. Darauf hin wurden drei aufeinander folgende Bildschirmanzeigen mit jeweils sechs kreisförmig um das Fixationskreuz angeordneten Symbolen gezeigt. Das so genannte Inter-Stimulus-Intervall (ISI), also jener zeitliche Abstand zwischen den einzelnen Anzeigen, welche den Teilnehmenden die kritischen Stimuli präsentierten, betrug jeweils 450 ms. In dieser Zeit war lediglich ein schwarzer Bildschirm zu sehen. Die Untersuchungsteilnehmenden wurden bereits im Rahmen der Übungsphase instruiert, die Augen während der Präsentation sowohl der Startanzeige als auch der ersten beiden Bildschirmanzeigen mit den Symbolen stets auf das Fixationskreuz in der Bildschirmmitte zu richten. Ziel der Anweisung war es, in diesem

Teil des Experiments die Wahrnehmung der dargebotenen Reize mittels verdeckter Aufmerksamkeit zu provozieren. Erst beim Aufscheinen der dritten und letzten Anzeige durften und sollten die Augen bewegt werden. In diesem Schritt sollte also eine Verlagerung der Aufmerksamkeit von der verdeckten hin zur offenen Form vollzogen werden. Das Verständnis des im Folgenden beschriebenen Experimentablaufs soll auch durch Abbildung 1 (Seite 36) erleichtert werden. Die ersten beiden Anzeigen haben wir als Cueanzeigen bezeichnet, wobei ein Cue im Sinne eines Hinweisreizes entsprechend der Erläuterung in der theoretischen Einführung der vorliegenden Arbeit zu verstehen ist. Die Cueanzeigen erschienen jeweils für 50 ms. Die dritte Bildschirmanzeige war jene für die gezielte Sakkade und wurde für 1000 ms gezeigt. Auf der ersten Anzeige waren um das Fixationskreuz sechs kreisförmig angeordnete Achten in digitaler Darstellung zu sehen. Eine dieser Achten war immer grün oder blau gefärbt und stellte den Cue für die erste Teilaufgabe des Experiments – eine Detektionsaufgabe – dar. Die restlichen fünf Achten der ersten Anzeige waren grau. Auf der zweiten Anzeige handelte es sich bei den ebenfalls kreisförmig um das Fixationskreuz angeordneten sechs Symbolen um die Zeichen E sowie  $\exists$ . Die Ausrichtung dieser Symbole, ein entsprechend der arabischen Schreibweise dargestelltes E oder ein spiegelverkehrtes, wurde zufällig, doch immer gleich verteilt gewählt (drei E und drei  $\exists$ ). Auch hier waren mit Ausnahme von einem alle Zeichen grau gehalten. Das farblich gekennzeichnete Symbol war diesmal rot und barg den Cue für die zweite Teilaufgabe des Experiments – eine Sakkadenaufgabe – in sich. Auf der letzten Bildschirmanzeige, jener für die gezielte Sakkade, waren an Stelle der zuvor gezeigten Symbole sechs graue Kreise als potentielle Sakkadenziele zu sehen.

Die Anforderung an die Untersuchungsteilnehmenden unterteilte sich mit dem angewandten Versuchsdesign in zwei bereits erwähnte Teilaufgaben. Als erste galt es eine Detektionsaufgabe zu bearbeiten. Dazu mussten die Teilnehmenden zunächst auf der ersten

Bildschirmanzeige hinsichtlich der Relevanz des gezeigten Cues differenzieren. Die Experimentinstruktion wurde diesbezüglich so gestaltet, dass die Hälfte aller Teilnehmenden die grüne Acht, die andere Hälfte die blaue Acht als relevanten Cue zu beachten hatte. Bei gegebenem relevanten Cue sollte ohne gezielte Augenbewegung in die entsprechende Richtung erkannt werden, welches Symbol auf der zweiten Bildschirmanzeige an Stelle des vorangegangenen Cues zu sehen war – ein E oder ein  $\exists$ . Im Falle eines irrelevanten Cues auf der ersten Bildschirmanzeige brauchten die Untersuchungsteilnehmenden während des gesamten aktuellen Durchgangs nicht zu reagieren. Mit der zweiten Bildschirmanzeige wurde gleichzeitig die zweite Aufgabe, eine Sakkadenaufgabe, eingeleitet. Hierbei sollte - nach wie vor ohne die Augen zu bewegen - erkannt werden, an welcher der sechs möglichen Positionen sich das rote Symbol befand. Die Form des roten Zeichens (E oder  $\exists$ ) spielte dabei keine Rolle. Die Rückmeldung über beide Aufgaben war erst nach Erscheinen der dritten Bildschirmanzeige zu geben. Dabei sollte zuerst mittels nun bewusst gelenkter Augenbewegung zum entsprechenden Kreis, einer gezielten Sakkade also, die Position des Symbols aus der Sakkadenaufgabe bestimmt werden. Erst danach war die Form (E oder  $\exists$ ) des Symbols aus der Detektionsaufgabe über die Tastatur anzugeben. Die Dauer der Testung gestaltete sich individuell in Abhängigkeit von der Arbeitsgeschwindigkeit der teilnehmenden Personen als auch der selbst bestimmten Längen der Pausen zwischen den einzelnen Durchgängen, welche planmäßig ins Versuchsdesign eingearbeitet worden waren. Die durchschnittliche Bearbeitungszeit lag daher etwa zwischen 30 und 50 Minuten.

**Untersuchungsteilnehmende.** Die Stichprobe setzte sich aus acht Teilnehmenden zusammen, wobei vier davon weiblich und vier männlich waren. Das Durchschnittsalter lag bei 27 Jahren. Die Teilnehmenden wurden einerseits über ein eigens für die Psychologische Fakultät der Universität Wien eingerichtetes Versuchspersonenportal online rekrutiert,

andererseits aus dem Umfeld der Versuchsleitenden. Es handelte sich dabei um Studierende diverser im Wiener Raum angebotener Studienrichtungen (Betriebswirtschaft, Mathematik, Medizin, Molekularbiologie, Pädagogik, Psychologie). Von den acht teilnehmenden Personen benutzten drei eine Brille oder Kontaktlinsen während des Experimentablaufs, um eine mit den anderen Teilnehmenden vergleichbare Sehleistung zu erreichen.

**Stimuli.** Vor jedem Durchgang war lediglich ein Fixationskreuz in der Mitte des Bildschirms in grauer Farbe und in der Größe von 0,7 x 0,7 cm zu sehen. Das eigentliche Stimulusmaterial war auf den ersten beiden Bildschirmanzeigen von drei folgenden lokalisiert und umfasste pro Bildschirmdarstellung sechs Symbole, wovon bis auf eines alle grau gehalten waren. Je nach eingeblendetem Bild erschien das einzelne farbige Symbol, der Cue, in den Farben Grün, Blau oder Rot, wobei alle sechs Symbole entweder die Form einer digitalen Acht hatten, oder aber die eines E bzw. eines  $\exists$ . Die Cues waren sowohl in der Detektionsaufgabe als auch in der Sakkadenaufgabe zufällig und gleichmäßig verteilt. Positioniert waren sie dabei immer an einer der vier möglichen Stellen links oder rechts einer gedachten vertikalen Bildschirmmitte, niemals jedoch an einer der beiden Stellen entlang dieser vertikalen Linie. Eine solche Anordnung der Cues war wesentlich für das Heranziehen der N2pc als Interpretationsmittel. Wie bereits in der theoretischen Einleitung erklärt, zeichnet sich diese EEG-Komponente durch eine stärkere Ausprägung in der contralateral zum entscheidenden Reiz gelegenen Hemisphäre aus. Cues hingegen, welche sich genau entlang der vertikalen Bildschirmmitte befanden und somit keiner der beiden Hemisphären eindeutig zuzuordnen waren, spielten für die N2pc als Messgröße keine Rolle.

Die Stimuli wurden auf einem schwarzen Hintergrund dargeboten. Die Stimulusgröße betrug 2 x 1,2 cm. Die jeweiligen sechs Symbole wurden kreisförmig um die fiktive Bildschirmmitte angeordnet präsentiert. Dabei betrug der Abstand eines Symbols zur Bildschirmmitte hin 7 cm. Zum einen ließen sich valide von nicht validen Durchgängen

abgrenzen. Valide Durchgänge zeichneten sich dadurch aus, dass der Cue aus der Detektionsaufgabe (grüne oder blaue Acht) und der Cue aus der Sakkadenaufgabe (rotes E oder Э) an derselben Position der unterschiedlichen Bildschirmanzeigen zu sehen waren, also sowohl in gleicher Höhe als auch auf derselben Seite des Bildschirms. Verdeckte und offene Aufmerksamkeit waren dadurch an ein und denselben Ort des Bildschirms zu richten. Bei nicht validen Durchgängen hingegen hatten die beiden Cues unterschiedliche Positionen belegt. Die Sakkade, die Verlagerung der offenen Aufmerksamkeit also, war somit an einen anderen Ort des Bildschirms zu lenken als es für die verdeckte Aufmerksamkeit der Fall gewesen war. Zum anderen wurde zwischen relevanten und irrelevanten Durchgängen unterschieden. Bei relevanten Durchgängen wurde durch ein Symbol von einer bestimmten Farbe die erwünschte verdeckte Aufmerksamkeitsverlagerung signalisiert. Wie bereits erwähnt, wurde hierbei der einen Hälfte der Stichprobe Grün als die zu beachtende Farbe kommuniziert, der anderen Hälfte Blau. Dementsprechend bedeutete für die eine Hälfte der Stichprobe Blau ein zu ignorierendes Signal und somit einen irrelevanten Durchgang. Für die andere Hälfte war dies konsequenterweise bei Grün der Fall.

**Instrumente, Datenaufzeichnung und Analyse.** Alle Testdurchgänge wurden am Institut für psychologische Grundlagenforschung der Universität Wien aufgezeichnet. Die Testungen wurden in einem fensterlosen Raum mit schwacher indirekter Beleuchtung und ohne akustische Störquellen durchgeführt, wobei die teilnehmenden Personen einzeln getestet wurden. Während des Experimentdurchlaufs wurden die Teilnehmenden vor einem 19-Zoll CRT Farbbildschirm (Sony Multiscan G400) mit einer Auflösung von 1024 x 768 Pixel in einem Lehnssessel derart positioniert, sodass die Entfernung des Gesichts zum Bildschirm 57 cm betrug. Um sicher zu stellen, dass der Kopf der Untersuchungsteilnehmenden während des Experiments nicht bewegt wurde und somit die Blickrichtung eine konstante blieb, wurde eine Fixierung des Kopfes mittels einer Stützvorrichtung für Stirn und Kinn auf jenem Tisch

vor der teilnehmenden Person, auf welchem ebenso der Bildschirm aufgestellt war, vorgenommen. Mittels des Bildschirms wurden die bereits beschriebenen visuellen Reize dargeboten. Ihre manuellen Antworten hatten die Versuchspersonen über eine standardmäßige Computertastatur einzugeben, welche ebenfalls auf dem Tisch vor ihnen zwischen Kopfstützvorrichtung und Bildschirm aufgestellt war. An der Tastatur waren für die Rückmeldung zwei Tasten markiert worden. „F“ sollte für E und „J“ für  $\exists$  gedrückt werden.

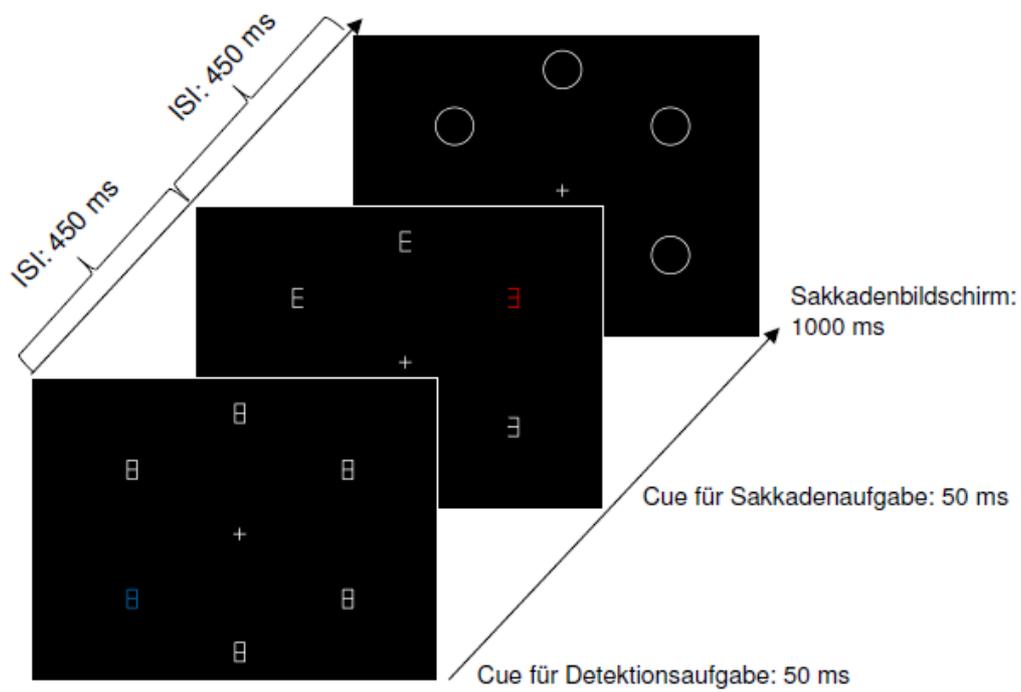
Die Augenbewegungen wurden mit einem Eyetracker erfasst. Hierzu wurde der Experiment Builder SR Research Eyelink 1000 (SR Research Ltd., Mississauga, Ontario, Canada) mit einer Bildwiederholungsrate von 100 Hz, einer Samplingrate von 1000 Hz sowie einer Helligkeitsstärke von 75% verwendet. Zur individuellen Einstellung des Eyetrackers diente eine 9-Punkt-Kalibrierung. Es wurde monokular getestet, wobei mit Hilfe einer 35 mm Linse die Bewegungen des dominanten Auges der teilnehmenden Person aufgezeichnet wurden. Die interessierenden Eigenschaften der Augenbewegungen waren zum einen die Sakkadenlatenzen. In der vorliegenden Untersuchung handelte es sich dabei um die Zeit zwischen dargebotenem Sakkadencue und der Sakkade zum entsprechenden Zielort des Cues. Die Aufzeichnung der Sakkadenlatenzen erfolgte in Millisekunden. Zum anderen interessierte die Genauigkeit der Sakkaden. Diese wurde in Pixel quantifiziert, wobei ein Pixel einer Abweichung von etwa einer Sekunde vom korrekten Zielort der Sakkade entsprach. Je größer der Wert, desto ungenauer wurde die Sakkade demnach ausgeführt.

Neben den Augenbewegungen wurde mittels Elektroenzephalographie (EEG) die Aktivität des Gehirns in ereigniskorrelierten Potentialen (EKP) aufgezeichnet. Es handelte sich dabei um eine Gleichstrommessung mithilfe von Silber-Silberchlorid-Elektroden (Ag/AgCl-Elektroden). Um die Leitfähigkeit der Elektroden zu erhöhen, wurden diese vor dem Anbringen mit einer Paste aus entgasten Elektrolyten gefüllt. Zusätzlich wurde die Kopfhaut der Untersuchungsteilnehmenden an Stelle einer jeden Elektrode mit einer sterilen

Nadel leicht angekratzt, wodurch die Impedanz unter 2 k $\Omega$  gehalten werden konnte. Pro teilnehmende Person wurden 26 Elektroden verwendet. An das internationale 10-20-System (Jasper, 1958) anlehnend, wurden dabei 19 Elektroden wie folgt angebracht: Fp1, Fp2, F7, F8, F3, F4, Fz, T3, T4, C3, C4, Cz, T5, T6, P3, P4, Pz, O1, O2. Vier zusätzliche Elektroden wurden an folgenden Stellen befestigt: frontal zentral, zwischen Fp1 und Fp2; okzipital zentral, zwischen O1 und O2; temporal links, zwischen T3 und T5; temporal rechts, zwischen T4 und T6. Die Referenzelektrode wurde nicht am Kopf, sondern sterno-vertebral über dem siebten Halswirbel und dem rechten Schlüsselbein fixiert (Stephenson & Gibbs, 1951). Um muskuläre Artefakte aus den interessierenden Augenbewegungen herausfiltern zu können, wurden die Signale aus dem vertikalen EOG (vertikales Elektrookulogramm, gemessen anhand von Elektroden über und unter dem linken Auge) sowie dem horizontalen EOG (gemessen anhand von Elektroden am äußeren Augencanthus) bipolar aufgezeichnet. Die gesamte EEG-Aufzeichnung wurde in Segmenten von 600 Millisekunden gestaffelt, ab 100 Millisekunden vor dem Erscheinen der Cues bis 500 Millisekunden nach deren Erscheinen. Aus den ereigniskorrelierten Potentialen wurden relativ zu einer Baseline von 100 Millisekunden durchschnittliche EKP-Amplituden für jede Aufgabenkombination (Detektionsaufgabe vs. Sakkadenaufgabe) als auch für jede Position der Cues (linkes vs. rechtes Gesichtsfeld) über alle vier möglichen Orte der Cues gebildet.

Um jene für eine N2pc relevanten Signale quantifizieren zu können, wurden die durchschnittlichen Amplituden der ereigniskorrelierten Potentiale an posterior-okzipitalen Elektroden gemessen. Diese Elektroden deckten zwar identische Bereiche des visuellen Kortex ab, waren jedoch an unterschiedlichen Hemisphären angebracht, sowohl aus kontralateraler als auch aus ipsilateraler Position zu den Cues also. Auf Basis dieser durchschnittlichen EKP-Amplituden wurde für beide Teilaufgaben jeweils eine mehrfaktorielle Varianzanalyse berechnet.

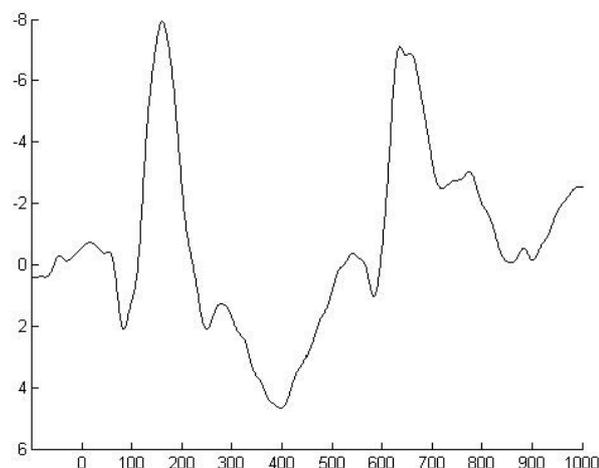
Durchgänge mit muskulären Artefakten bei der EEG-Aufzeichnung (Überschreitung von  $\pm 80 \mu\text{V}$  auf einer der Elektroden), als auch jene mit zu schnellen oder zu langsamen Sakkaden wurden von der Auswertung ausgeschlossen. Der kritische Bereich der ausgewerteten Augenbewegungen wurde dabei zwischen 100ms und 1000ms nach Aufscheinen der letzten Bildschirmanzeige, jener für die gezielte Sakkade also, festgelegt. Ebenso wurden Durchgänge mit falschen Antworten bezüglich der Detektionsaufgabe von der Auswertung ausgenommen. Durch diese Maßnahme sollte gewährleistet werden, dass während der Detektionsaufgabe auch tatsächlich eine Verlagerung der verdeckten Aufmerksamkeit stattgefunden hatte. Anhand beschriebener Ausschlusskriterien flossen 81,2% aller aufgezeichneten Durchgänge in die Auswertung mit ein.



*Abbildung 1:* Schematische Darstellung des Experimentablaufs. Das Inter-Stimulus-Intervall von 450 ms signalisiert einen leeren Bildschirm ohne Reizdarbietung. Der Detektionscue auf der ersten Anzeige wurde hier in blau präsentiert und befindet sich links unten. Der Sakkadencue auf der zweiten Anzeige liegt rechts oben. Das Beispiel zeigt demnach einen nicht validen Durchgang.

## Ergebnisse

**Cue-Differenzierung im EEG.** Um sicher zu stellen, dass die Präsentation der Cueanzeigen aus Detektionsaufgabe und Sakkadenaufgabe tatsächlich zur Wahrnehmung zweier unterschiedlicher Reizdarbietungen führte, wurde wie bereits im Methodenteil erwähnt ein Inter-Stimulus-Intervall von 450 Millisekunden gewählt. Abbildung 2 (Seite 37) stellt den Durchschnitt aller ereigniskorrelierten Potentiale aus zwei Elektroden, entsprechend dem 10-20-System (Jasper, 1958) bei P3 und P4 gelegen, von allen Durchgängen, allen Bedingungen und allen Teilnehmenden dar. Mit einer eigenständigen Ausprägung im EEG je auf den Detektionscue und den Sakkadencue folgend zeigt sie deutlich, dass mit dem gewählten Intervall eine Differenzierung in der Reaktion auf die beiden Reize hin möglich war.

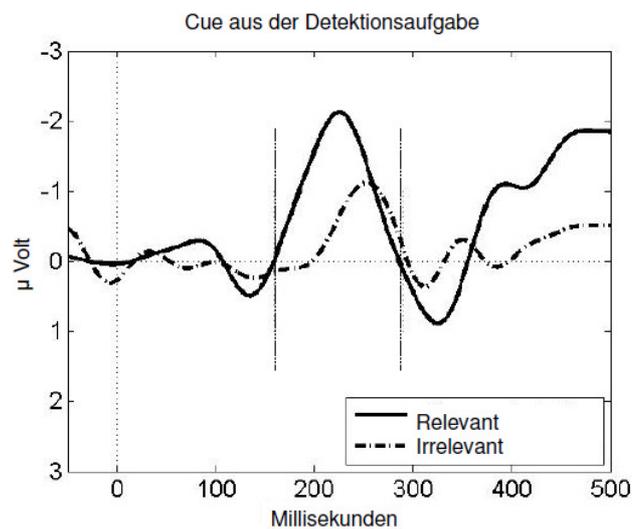


*Abbildung 2:* Durchschnitt aller ereigniskorrelierten Potentiale der beiden Elektroden bei P3 und P4 entsprechend des 10-20-Systems (Jasper, 1958) von allen Durchgängen, allen Bedingungen und allen Teilnehmenden bei einem ISI von 450 ms zwischen Cueanzeige aus der Detektionsaufgabe und jener aus der Sakkadenaufgabe.

**EEG-Ergebnisse zur Detektionsaufgabe.** Basierend auf den durchschnittlichen EKP-Amplituden der Elektroenzephalographie wurde für die Detektionsaufgabe eine dreifaktorielle Varianzanalyse berechnet. Die Faktoren wurden dabei als „Lateralität“ (Position des Detektionscues am Bildschirm – rechte vs. linke Seite entlang der vertikalen Mitte), „Hemisphäre“ (Position des Detektionscues relativ zum Farbreiz – kontra- vs. ipsilateral) sowie „Matching“ (relevanter vs. irrelevanter Durchgang) bezeichnet. Für die interessierenden Eigenschaften wurde das Zeitfenster von 160 bis 290 Millisekunden nach dem Einsetzen des Cues analysiert. Wie bereits in der theoretischen Einleitung erläutert, entspricht ein solches Zeitfenster dem klassischen Rahmen für das Auftauchen einer N2pc (Hopf, Luck, Girelli, Hagner, Mangun, Scheich & Heinze, 2000). Die Varianzanalyse für den besagten Zeitbereich zeigte einen Haupteffekt für den Faktor Lateralität [ $F(1,7) = 5.84, p < .047$ ], sowie einen Interaktionseffekt der Faktoren Lateralität und Matching [ $F(1,7) = 6.59, p < .038$ ]. Die Ergebnisse werden in Tabelle 1 (Seite 39) wiedergegeben. Abbildung 3 (Seite 39) veranschaulicht die Differenzwerte von Signalen aus vergleichbaren Elektroden unterschiedlicher Hemisphären - demnach also einerseits kontralateral, andererseits ipsilateral zum Detektionscue gelagert. Aus den vorliegenden Ergebnissen lässt sich schließen, dass jener in der Detektionsaufgabe dargebotene Cue in allen Experimentbedingungen nachfolgend eine N2pc als Reaktion auslöste. Dies war sowohl bei relevanten Durchgängen, aber auch bei den irrelevanten der Fall. Demnach wurde die Verlagerung der verdeckten Aufmerksamkeit nicht nur bei zu berücksichtigendem Cue erreicht, sondern auch unter solchen Bedingungen, wo es den dargebotenen Cue zu ignorieren galt. Da allerdings die N2pc bei den relevanten Durchgängen deutlich stärker ausgeprägt war, kann man von einer differenzierten neuronalen Reaktion sprechen, welche den relevanten Reizen zumindest eine wesentlich stärkere Aufmerksamkeit zukommen ließ.

Analysis of Variance					
Source	Sum Sq.	d. f.	Mean Sq.	F	Prob>F
VP	156.901	7	22.4144	Inf	0
Hemisphäre	0.598	1	0.5976	0.6	0.4627
Lateralität	10.846	1	10.8463	5.84	0.0464
Matching	6.145	1	6.1449	1.63	0.2429
VP*Hemisphäre	6.931	7	0.9901	0.05	0.9995
VP*Lateralität	13.008	7	1.8584	0.11	0.9948
VP*Matching	26.445	7	3.7779	1.74	0.2354
Hemisphäre*Lateralität	0.518	1	0.5176	0.03	0.863
Hemisphäre*Matching	0.317	1	0.3172	0.15	0.7078
Lateralität*Matching	1.909	1	1.9089	6.59	0.0371
VP*Hemisphäre*Lateralität	113.023	7	16.1462	83.63	0
VP*Hemisphäre*Matching	14.565	7	2.0807	10.78	0.0028
VP*Lateralität*Matching	2.027	7	0.2895	1.5	0.3031
Hemisphäre*Lateralität*Matching	0.283	1	0.2831	1.47	0.2652
Error	1.352	7	0.1931		
Total	354.868	63			

*Tabelle 1:* Varianzanalyse der Detektionsaufgabe. Gewähltes Zeitfenster entspricht 160 bis 290 ms nach Darbietung des Detektionscues. Es zeigen sich ein Haupteffekt für den Faktor Lateralität sowie ein Interaktionseffekt zwischen den Faktoren Lateralität und Matching.



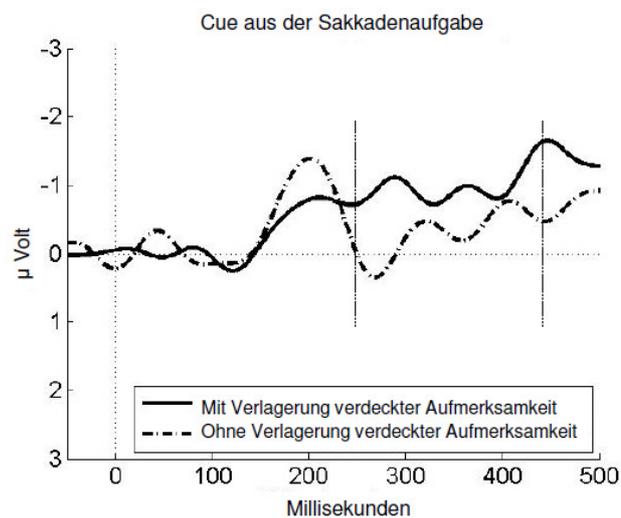
*Abbildung 3:* Darstellung der EEG-Auswertung für die Detektionsaufgabe. Zu sehen sind die Differenzwerte vergleichbarer Elektrodensignale unterschiedlicher Hemisphären (kontra- und ipsilateral zum Cue). Jenes für eine N2pc kritische Zeitfenster von 160 bis 290 Millisekunden nach der Reizdarbietung wurde zur Verdeutlichung mit zwei vertikalen Linien markiert.

**EEG-Ergebnisse zur Sakkadenaufgabe.** Für die Sakkadenaufgabe wurde eine vierfaktorielle Varianzanalyse berechnet, wobei wiederum die Werte der durchschnittlichen EKP-Amplituden der Elektroenzephalographie als Basis dienten. Drei Faktoren entsprachen dabei jenen aus der Varianzanalyse zur Detektionsaufgabe, nämlich „Lateralität“, Hemisphäre“ sowie „Matching“. Als zusätzlicher Faktor wurde die „Seite des Detektionscues“ hinzugezogen. Abbildung 4 (Seite 42) veranschaulicht abermals die Differenzwerte vergleichbarer, jedoch kontralateral oder ipsilateral zum dargebotenen Cue gelegener Elektroden. Sie zeigt deutlich, dass im Rahmen der Sakkadenaufgabe bei den relevanten Durchgängen, also jenen mit vorangegangener Verlagerung der verdeckten Aufmerksamkeit in der Detektionsaufgabe, keine N2pc als Reaktion auf den dargebotenen Sakkadencue beobachtet werden konnte. In Folge musste eine alternative Form neuronaler Reaktion auf Reizdarbietung für die Auswertung der Ergebnisse verwendet werden. Van Velzen und Eimer (2003) nennen in diesem Zusammenhang die EDAN (early directing attention negativity) als Möglichkeit. Ähnlich der N2pc interpretieren sie diese als Ausdruck von Reizselektion bei der Unterscheidung zwischen aufgabenrelevanten und irrelevanten Reizen. Als charakteristische Zeitspanne für die EDAN werden in der Literatur etwa 250 bis 450 Millisekunden nach der Darbietung eines Reizes angegeben (Gutteling et al., 2010; Praamstra & Kourtis, 2010; Van der Lubbe et al., 2006). Tatsächlich konnte die entsprechende Amplitudenform in der vorliegenden Elektroenzephalographie bei den relevanten Durchgängen der Sakkadenaufgabe beobachtet werden (siehe nochmals Abbildung 4, Seite 42). Die Varianzanalyse für das betreffende Zeitfenster ergab einen Haupteffekt für den Faktor Lateralität [ $F(1,7) = 6.35, p < .039$ ], sowie zwei Interaktionseffekte: Lateralität und Matching [ $F(1,7) = 9.67, p < .017$ ] als auch Hemisphäre und Matching [ $F(1,7) = 6.75, p < .035$ ]. Die Ergebnisse werden in Tabelle 2 (Seite 42) wiedergegeben. In den relevanten Durchgängen drückte sich die neuronale Reaktion auf den Sakkadencue also nicht in Form

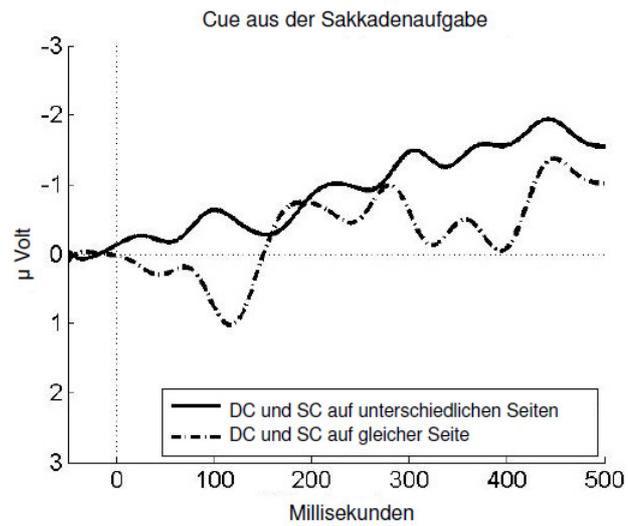
einer N2pc, sondern einer verhältnismäßig frühen EDAN aus. Bei den irrelevanten Durchgängen, also solchen ohne vorangegangener verdeckter Aufmerksamkeitsverlagerung in der Detektionsaufgabe, konnten hingegen beide Amplitudenarten beobachtet werden. Zunächst kam es zu einer N2pc, welche von einer EDAN gefolgt wurde. Diese war im Vergleich zur selben Amplitudenart bei den relevanten Durchgängen verhältnismäßig schwach ausgeprägt. Hebt man in der Auswertung der Elektroenzephalographie die relative Position der beiden Cues zu einander hervor, unterschieden nach der Bildschirmhälfte (links vs. rechts), auf welcher sie dargeboten wurden, so zeigt sich in jenen Durchgängen, in welchen der Detektionscue und der Sakkadencue auf derselben Bildschirmhälfte zu sehen waren, eine schwächere und später einsetzende EDAN als in solchen Durchgängen, in denen Detektionscue und Sakkadencue auf unterschiedlichen Seiten des Bildschirms präsentiert wurden. Zur Verdeutlichung soll Abbildung 5 (Seite 43) dienen.

Analysis of Variance					
Source	Sum Sq.	d. f.	Mean Sq.	F	Prob>
WP	1239.29	7	177.042	4.66	0.021
Hemisphäre	0	1	0.001	0	0.978
Lateralität	13.61	1	13.607	6.35	0.039
Matching	129.52	1	129.516	4.2	0.079
SeiteDT	7.7	1	7.695	0.75	0.415
WP*Hemisphäre	8.49	7	1.212	0.21	0.944
WP*Lateralität	14.99	7	2.142	Inf	0
WP*Matching	215.74	7	30.82	Inf	0
WP*SeiteDT	71.76	7	10.251	1.32	0.449
Hemisphäre*Lateralität	0.51	1	0.511	0.86	0.384
Hemisphäre*Matching	8.64	1	8.641	6.75	0.035
Hemisphäre*SeiteDT	2.38	1	2.379	0.21	0.658
Lateralität*Matching	3.87	1	3.865	9.67	0.017
Lateralität*SeiteDT	0.75	1	0.752	0.46	0.520
Matching*SeiteDT	1.2	1	1.2	0.52	0.494
WP*Hemisphäre*Lateralität	4.16	7	0.594	0.16	0.991
WP*Hemisphäre*Matching	8.96	7	1.279	0.35	0.925

*Tabelle 2:* Ausschnitt aus der Varianzanalyse der Sakkadenaufgabe. Gewähltes Zeitfenster entspricht 250 bis 450 ms nach Darbietung des Sakkadencues. Es zeigen sich ein Haupteffekt für den Faktor Lateralität sowie zwei Interaktionseffekte zwischen den Faktoren Lateralität und Matching als auch Hemisphäre und Matching.



*Abbildung 4:* Darstellung der EEG-Auswertung für die Sakkadenaufgabe. Zu sehen sind die Differenzwerte vergleichbarer Elektrodensignale unterschiedlicher Hemisphären (kontra- und ipsilateral zum Cue). Jenes für eine EDAN kritische Zeitfenster von 250 bis 450 Millisekunden nach der Reizdarbietung wurde zur Verdeutlichung mit zwei vertikalen Linien markiert.



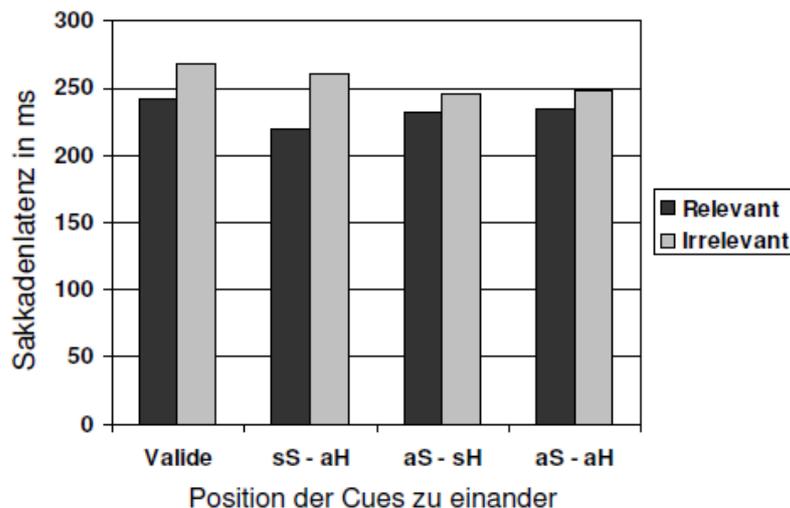
*Abbildung 5:* Darstellung der EEG-Auswertung für die Sakkadenaufgabe, unterschieden nach der relativen Position der Cues aus Detektionsaufgabe und Sakkadenaufgabe auf dem PC-Bildschirm. Detektionscue und Sakkadencue werden in der Grafik mit „DC“ und „SC“ abgekürzt.

**Eyetracking-Ergebnisse.** Für die Analyse der mittels des Eyetrackers aufgezeichneten Sakkadenlatenzen bezüglich des Zielortes des Sakkadencues wurde eine dreifaktorielle ANOVA berechnet. Die Faktoren wurden als „Matching“ (relevanter vs. irrelevanter Durchgang), „Seite“ (Detektionscues und Sakkadencues erschienen auf derselben Bildschirmseite vs. auf unterschiedlichen Seiten) und „Höhe“ (die beiden Cues erschienen auf derselben Höhe am Bildschirm vs. auf unterschiedlichen Höhen) bezeichnet. Dabei zeigte sich ein Haupteffekt für den Faktor Matching [ $F(1,7) = 6.18, p < .042$ ]. Zur Verdeutlichung siehe Tabelle 3 (Seite 46) als auch Abbildung 6 (Seite 46). Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass die Sakkadenlatenzen bei relevanten Durchgängen kürzer waren als bei irrelevanten. In Bedingungen also, in denen ein relevanter Detektionscues gezeigt wurde und somit eine Verlagerung der verdeckten Aufmerksamkeit gefragt war, wurde grundsätzlich schneller reagiert. Betrachtet man innerhalb der relevanten Durchgänge die Reaktionen auf valide Cuedarstellungen, so zeigt sich ein überraschendes Bild. Die Sakkadenlatenzen waren hier im Vergleich zu allen anderen Kombinationen der Positionen der beiden Cues zu einander am längsten. Schienen Detektionscues und Sakkadencues also an ein und derselben Stelle des Bildschirms auf, so wurde langsamer reagiert als bei unterschiedlich positionierten Cues. Dieses Ergebnis steht im Kontrast zu jener in der vorliegenden Arbeit formulierten Annahme, eine valide Cuedarstellung würde die Sakkaden erleichtern und konnte ebenso bei irrelevanten Durchgängen der Untersuchung beobachtet werden. Neben den langen Reaktionszeiten auf valide Cues hin zeigte sich noch ein weiteres interessantes Ergebnis, welches die Genauigkeit der Sakkaden betraf. Die entsprechenden Werte zu den Sakkadengenauigkeiten werden dabei in Tabelle 4 (Seite 47) dargestellt. Unterteilt man die Reaktionen in den relevanten Durchgängen abermals nach der Positionierung der beiden Cues zu einander in vier Gruppen, so wird sichtbar, dass die Sakkaden zum Zielort des Sakkadencues in der Gruppe der validen Cuedarstellungen mit einem Durchschnittswert von

25,01 Pixel die höchste Genauigkeit aufwiesen. Die Sakkaden in den anderen drei Gruppen, bei nicht valider Cuedarstellung also, wurden ungenauer ausgeführt. Dieses Ergebnis wird ergänzend durch Abbildung 7 (Seite 47) veranschaulicht. Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass bei der vorliegenden Untersuchung die Präsentation von Detektionscue und Sakkadencue an ein und demselben Ort des Bildschirms zu verhältnismäßig langsamen, aber besonders genauen Sakkaden führte.

Analysis of Variance					
Source	Sum Sq.	d. f.	Mean Sq.	F	Prob>F
WP	117119	7	16731.3	18.34	0.2137
Matching	11043.7	1	11043.7	6.18	0.0419
SeiteDT	318	1	318	0.28	0.6109
HöheDT	58	1	58	0.21	0.6576
WP*Matching	12513	7	1787.6	1.11	0.4248
WP*SeiteDT	7851.5	7	1121.6	0.7	0.6752
WP*HöheDT	1895.1	7	270.7	0.24	0.9641
Matching*SeiteDT	3128.5	1	3128.5	2.74	0.1419
Matching*HöheDT	493.4	1	493.4	0.75	0.4155
SeiteDT*HöheDT	770.7	1	770.7	1.17	0.3143
WP*Matching*SeiteDT	7997.3	7	1142.5	6.03	0.0151
WP*Matching*HöheDT	4611.6	7	658.8	3.48	0.0612
WP*SeiteDT*HöheDT	4592.1	7	656	3.46	0.0618
Matching*SeiteDT*HöheDT	181.2	1	181.2	0.96	0.3608
Error	1326.9	7	189.6		
Total	173900	63			

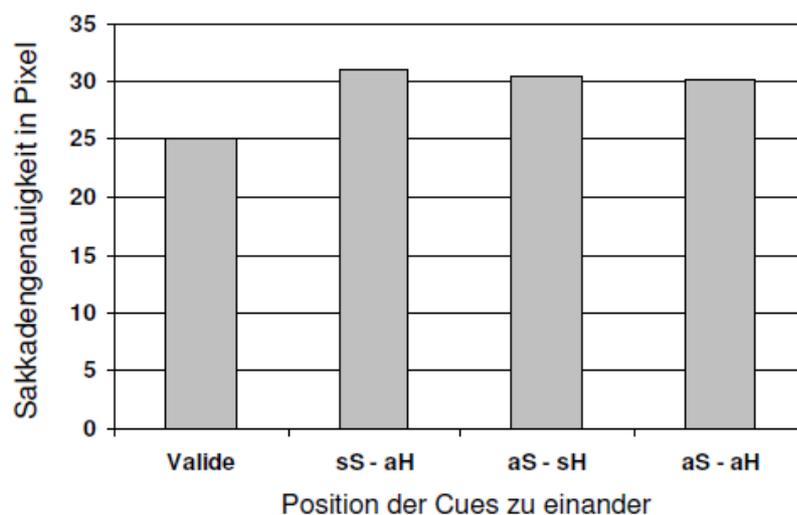
*Tabelle 3:* Ausschnitt aus der Varianzanalyse der Sakkadenlatenzen der Eyetrackeraufzeichnung. Die ANOVA zeigt einen Haupteffekt für den Faktor Matching.



*Abbildung 6:* Balkendiagramm der Sakkadenlatenzen, unterschieden nach der Art der Durchgänge (relevant vs. irrelevant) und der Art der Cuedarstellung: valide (selbe Bildschirmseite als auch Höhe der beiden Cues), selbe Seite – andere Höhe (sS – aH), andere Seite – selbe Höhe (aS – sH) und andere Seite – andere Höhe (aS – aH). Bei relevanten Durchgängen fiel die Zeit bis zum Einsetzen der Sakkade zum Zielort des Sakkadencues kürzer aus. Valide Cuedarstellungen forderten innerhalb der relevanten Durchgänge die längsten Sakkadenlatenzen.

Teilnehmende Person	Sakkadengenauigkeiten bei relevanten Durchgängen			
	Valide	sS - aH	aS - sH	aS - aH
1	23,39	37,09	30,26	39,99
2	27,23	32,4	30,95	26,79
3	26,36	35,16	30,27	32,22
4	24,57	27,41	30,2	26,1
5	22,78	23,61	26,45	25,78
6	20,71	23,54	31,33	32,26
7	26,72	34,21	31,1	28,9
8	28,34	33,74	32,79	29,95
Ø	25,01	30,9	30,42	30,25

*Tabelle 4:* Sakkadengenauigkeit bei relevanten Durchgängen. Es werden vier Gruppen nach der Art der Cuedarstellung unterschieden: valide (selbe Bildschirmseite als auch Höhe der beiden Cues), selbe Seite – andere Höhe (sS – aH), andere Seite – selbe Höhe (aS – sH) und andere Seite – andere Höhe (aS – aH). Die Genauigkeiten werden pro teilnehmende Person in Pixel angegeben, wobei ein Pixel einer Abweichung von etwa einer Sekunde vom korrekten Zielort der Sakkade entspricht. Je größer der Wert, desto ungenauer wurde die Sakkade also ausgeführt. Außerdem werden die Durchschnittsgenauigkeiten pro Gruppe dargestellt. Bei valider Cuedarstellung fielen die Sakkaden zum Zielort des Sakkadencues am genauesten aus.



*Abbildung 7:* Balkendiagramm der Durchschnittswerte zu den Sakkadengenauigkeiten aus Tabelle 4. Die Unterteilung in vier Gruppen wird wie bei Tabelle 4 beschrieben beibehalten.

## **Diskussion**

Mit der vorliegenden Diplomarbeit sollten zwei Fragen erörtert werden. Zum einen interessierte, ob die Verlagerung der verdeckten Aufmerksamkeit an einen bestimmten Ort des peripheren Gesichtsfelds die Verlagerung der offenen Aufmerksamkeit zum selben Ort begünstigt. In Anlehnung an die Arbeit von Deubel und Schneider (1996) sollten in diesem Zusammenhang so genannte valide Reize (identische Positionierung des Reizes, welcher mittels offener Aufmerksamkeit wahrgenommen werden soll wie jenes Reizes, der mittels der verdeckten wahrgenommen wurde) die Geschwindigkeit einer Sakkade zum Zielort erhöhen. Diese Annahme wurde im Rahmen der zweiten Teilaufgabe, also der Sakkadenaufgabe, beleuchtet. Zum anderen sollte geklärt werden, ob auf aufgabenrelevante visuelle Inhalte anders reagiert wird als auf irrelevante. Entsprechend der Theorie der bedingten Aufmerksamkeit sollten jene für die Bearbeitung einer Aufgabe wesentlichen Reize aus der Gesamtheit aller zur Verfügung stehenden Informationen des visuellen Umfelds gefiltert und von der Aufmerksamkeit anders als jene unwesentlichen behandelt werden. Diese Annahme wurde mithilfe der ersten Teilaufgabe der beschriebenen Untersuchung, also der Detektionsaufgabe, geprüft. In der nachfolgenden Diskussion sollen die bereits dargestellten Ergebnisse beider Teilaufgaben in chronologischer Reihenfolge des Untersuchungsablaufs nochmals zusammengefasst und reflektiert werden.

### **Zur Detektionsaufgabe**

Die Aufzeichnungen der Elektroenzephalographie zeigten, dass es im Rahmen der Detektionsaufgabe in beiden Untersuchungsbedingungen – den relevanten als auch den irrelevanten – zu einer Reaktion kam. Sieht man in der N2pc eine neuronale Komponente der Aufmerksamkeit, so muss festgehalten werden, dass nicht nur bei Darbietung relevanter Cues eine Verlagerung der verdeckten Aufmerksamkeit zum Ort des gezeigten Reizes erreicht

wurde, sondern auch nach der Darbietung zu ignorierender Cues. Eine N2pc wurde in beiden Bedingungen beobachtet. Diese Tatsache wird ebenfalls durch den in der Varianzanalyse gefundenen Haupteffekt für den Faktor Lateralität bekräftigt. Unabhängig davon, ob der gegebene Cue der Detektionsaufgabe beachtet oder ignoriert werden sollte, wurde von den Untersuchungsteilnehmenden also reagiert. Ein „Nichtreagieren“ gab es im Zuge der vorliegenden Untersuchung demnach nicht. Dennoch ließ sich ein Unterschied in der Reaktionsart bezüglich relevanter und irrelevanter Cues ausmachen, welcher die Argumentation in Richtung einer differenzierten Herangehensweise an die Auswahl von Informationen, welche es zur Bearbeitung einer Aufgabe braucht, erlaubt. Es zeigte sich nämlich, dass die N2pc als Reaktion auf den dargebotenen Detektionscue zwar unabhängig von dessen Relevanz auftrat, bei relevanten Cues aber deutlich stärker ausgeprägt war. Reize, welche für die erfolgreiche Bewältigung der vorgegebenen Aufgabe eine wesentliche Rolle spielten, zogen die Aufmerksamkeit offensichtlich stärker auf sich. Dieses Ergebnis wird auch durch den in der Varianzanalyse aufgetretenen Interaktionseffekt zwischen den Faktoren Lateralität und Matching verdeutlicht. Die Teilnehmenden waren also durchaus in der Lage, in ihrer Reaktion zwischen wesentlichen und unwesentlichen Reizen zu unterscheiden, wodurch sie die relevanten Inhalte von Anfang an mit mehr Aufmerksamkeit bedachten. Mit diesen Ergebnissen lässt sich die Theorie der bedingten Aufmerksamkeit untermauern. Natürlich ist die Tatsache, dass zu ignorierende Cues, bis zu einem gewissen Grad zumindest, ebenfalls berücksichtigt wurden, nicht uninteressant. Eine mögliche Erklärung für diese Beobachtung lieferten bereits Luck und Hillyard (1994a, 1994b). Im Zuge ihrer Untersuchungen konnten sie im EEG eine ausgeprägte N2pc bei Distraktoren verzeichnen, welche den Zielreizen sehr ähnlich waren. Bei leicht zu unterscheidenden Distraktoren blieb die N2pc bei derselben Versuchsanordnung aus. Umgemünzt auf die vorliegende Diplomarbeit wäre es denkbar, dass sich die relevanten Cues der Detektionsaufgabe von jenen

irrelevanten nicht deutlich genug unterschieden und somit die Teilnehmenden in die Irre leiteten. Beide Cues hatten immerhin eine identische Form und die gewählten Farben zur Signalisierung eines relevanten bzw. irrelevanten Durchgangs – Blau und Grün – waren womöglich zu ähnlich. In nachfolgenden Untersuchungen zur vergleichbaren Thematik sollte daher auf einen stärkeren Kontrast zwischen entsprechenden Reizen geachtet werden.

### **Zur Sakkadenaufgabe**

Der Haupteffekt der Varianzanalyse bezüglich der Sakkadenlatenzen für den Faktor Matching zeigte, dass unabhängig von der Art des vorangegangenen Detektionscues (relevant vs. irrelevant) Augenbewegungen vollzogen wurden. Da die Sakkaden bei relevanten Durchgängen jedoch kürzer waren, kann man annehmen, dass nach einem erfolgreich erkannten relevanten Cue die Reaktionsbereitschaft in der Sakkadenaufgabe höher war als bei irrelevanten Durchgängen. Dies kann man abermals als Hinweis auf ein zielorientiertes, top-down-gesteuertes Herangehen an das Lösen der gestellten Aufgabe verstehen. Überraschend war jenes Ergebnis, demnach die Sakkadenlatenzen bei einer validen Darstellung der beiden Cues im Vergleich zu allen anderen Verteilungskombinationen der Cues am Bildschirm am längsten waren. Die Annahme, eine vorangegangene Verlagerung der verdeckten Aufmerksamkeit zu einem bestimmten Ort im peripheren Gesichtsfeld erleichtere die Verlagerung der offenen Aufmerksamkeit zum selben Ort, konnte demnach nicht bestätigt werden. Im Gegenteil: die Ausrichtung beider Aufmerksamkeitsarten auf dasselbe Ziel erschwerte die Sakkadenleistung scheinbar. Dieser Effekt könnte durch die Theorie der Rückkehrhemmung (Posner & Cohen, 1984) erklärt werden. Entsprechend dieser Theorie kommt es an Punkten im peripheren Gesichtsfeld, welche kürzlich erst betrachtet und somit mit Aufmerksamkeit bedacht wurden, zu einer Art Hemmung. Es ist dann besonders unwahrscheinlich, dass darauf folgende Sakkaden wieder zum selben Ort gelenkt werden. Viel eher werden neue Orte betrachtet, welche noch unbekannte, unverarbeitete

Informationen bieten. Eine solche Hemmung bereits gesehener Reize soll eine möglichst zeiteffiziente Verarbeitung des visuellen Umfelds erleichtern. Zu betonen ist, dass nach Posner und Cohen (1984) auch periphere Hinweisreize diesen Effekt auslösen können. Dies ist insbesondere bei längeren Intervallen zwischen Hinweisreiz und Zielreiz von etwa 300 bis 800 Millisekunden der Fall (Godijn & Theeuwes, 2004; Posner & Cohen, 1984). Bei kürzeren Inter-Stimulus-Intervallen verschwindet die Hemmung und die Reaktionszeiten werden kürzer (Geyer, Müller & Krummenacher 2008; Theeuwes, 2010). Aufgrund des gewählten Inter-Stimulus-Intervalls von 450 Millisekunden ist eine Rückkehrhemmung der Sakkaden auch in der vorliegenden Untersuchung denkbar. Es wäre möglich, dass der zeitliche Abstand zum Cue aus der Detektionsaufgabe schlichtweg zu lange war, um die Aufmerksamkeit in der Sakkadenaufgabe bei einer validen Cuedarstellung erneut auf das selbe, bereits wahrgenommene Ziel am Bildschirm zu richten. Um die Rückkehrhemmung als Erklärung für die auffallend langen Sakkadenlatenzen bei validen Bedingungen in der vorliegenden Arbeit zu überprüfen, sollten in nachfolgenden Untersuchungen mit vergleichbarem Design die Abstände zwischen Detektionscue und Sakkadencue kürzer gehalten werden. Van der Lubbe und Woestenburg (1997) etwa konnten bei Inter-Stimulus-Intervallen von 100 und 300 Millisekunden keine Rückkehrhemmung von Sakkaden beobachten. Gleichzeitig betonten sie in ihrer Arbeit die Wichtigkeit entsprechend gewählter Intervalle zwischen den Reizdarbietungen. Bei zu kurz angelegten Abständen besteht nämlich wiederum die Gefahr, zwischen den Reaktionen auf die einzelnen Reize nicht entsprechend differenzieren zu können (Van der Lubbe & Woestenburg, 1997).

Eine alternative Erklärung für die besonders langen Sakkadenlatenzen bei valider Cuepräsentation lässt sich in der Prämotortheorie der Aufmerksamkeit (Rizzolatti et al., 1987) finden, welche bereits in der Einleitung der vorliegenden Diplomarbeit vorgestellt wurde. Wie beschrieben, liegen entsprechend dieser Theorie räumlicher Aufmerksamkeit und

motorischer Aktivität gemeinsame Kontrollmechanismen zu Grunde. Das Zuwenden von Aufmerksamkeit auf ein bestimmtes Objekt im Raum stellt also lediglich eine schwächere Aktivierung derselben Kortexregionen dar, auf welche ebenso bei der Ausführung von Handlung zugegriffen wird und ist somit eine Vorstufe tatsächlicher motorischer Aktivität. Demnach leitet die Zuwendung der verdeckten Aufmerksamkeit zu einem Reiz im peripheren Gesichtsfeld die Vorbereitung einer Sakkade zu diesem Ort ein. Ein Programm für Richtung und Laufbahn der Sakkade wird erstellt, wobei bereits die Programmierung der Sakkade vom neuronalen System als eine solche interpretiert wird, da ja dieselben Kortexregionen angeregt werden, wie bei der tatsächlichen Ausführung der Sakkade. In der vorliegenden Untersuchung könnte also die Verlagerung der verdeckten Aufmerksamkeit zum Detektionscue hin durchaus als eine zwar geplante, aber abgebrochene Sakkade verstanden werden. Bezug nehmend auf die zuvor besprochene Rückkehrhemmung von Sakkaden würde nun der Ort, an welchem der Cue aus der Detektionsaufgabe dargestellt wurde, gehemmt werden, was ein erneutes Zuwenden der Aufmerksamkeit im Zuge der Sakkadenaufgabe zum selben Ort hin erschweren würde. Für eine solche Rückkehrhemmung der Aufmerksamkeit zu bereits wahrgenommenen Orten spricht auch das vorliegende Ergebnis, demnach bei der Darstellung von Detektionscue und Sakkadencue auf derselben Bildschirmseite, im ipsilateralen Gesichtsfeld also, die aufgezeichnete EDAN später und in abgeschwächter Form zu beobachten war. Die Verlagerung der offenen Aufmerksamkeit zur selben Seite des Gesichtsfeldes wie jene der verdeckten Aufmerksamkeit ist selbst bei nicht validen Verhältnissen einer validen Cuedarstellung ähnlicher als eine nicht valide contralaterale Ausrichtung der beiden Aufmerksamkeitsarten (Walker, Deubel, Schneider & Findlay, 1997). Bei einer zwar nicht überlappenden, aber ipsilateralen Darstellung von zwei Reizen muss lediglich die Amplitude, also die Laufbahn, der bereits programmierten Sakkade angepasst werden. Bei einer contralateralen nicht validen Darstellung der beiden Reize hingegen muss

ein komplett neues Sakkadenprogramm nicht nur zur Laufbahn sondern auch zur Richtung der Sakkade erstellt werden, so Walker et al. (1997). Die verzögerte und verhältnismäßig schwache EDAN bei ipsilateraler Cuedarstellung in der vorliegenden Untersuchung könnte also eine gehemmte neuronale Reaktion im Sinne der Rückkehrhemmung von Aufmerksamkeit widerspiegeln.

Auffällig ist weiters die Tatsache, dass jene besonders langsamen Sakkaden ebenso besonders genau ausgeführt wurden. Eine mögliche Erklärung für diese Beobachtung lässt sich im so genannten Fitt'schen Gesetz finden (Fitts, 1954). Fitts (1954) untersuchte im Rahmen eines psychomotorischen Experiments zu Armbewegungen die Wechselwirkungen von Bearbeitungsgeschwindigkeit und Genauigkeit einer Aufgabe in Abhängigkeit von deren Schwierigkeit. Dabei sollte ein vorgegebener Punkt von den Untersuchungsteilnehmenden mit einem Stift getroffen werden. Fitts (1954) variierte dabei sowohl die Größe des Ziels als auch die Distanz, die vom Arm eines Untersuchungsteilnehmenden zurückgelegt werden musste. Mit dem Experiment konnte gezeigt werden, dass die Geschwindigkeit und die Genauigkeit von Bewegungen einer linearen Beziehung unterliegen. Je kleiner oder entfernter ein Zielpunkt dargestellt wurde, desto länger brauchte es, um diesen zu berühren. Wurde andererseits die Geschwindigkeit der Armbewegung erhöht, umso ungenauer wurde diese ausgeführt. Dieser Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Genauigkeit von Bewegungen wird häufig auch als „speed-accuracy trade-off“ bezeichnet. (Rinkenauer, Osman, Ulrich, Müller-Gethmann & Mattes, 2004; Schmidt, Zelaznik, Hawkins, Frank & Quinn, 1979; Wetter, Wegge, Jonas & Schmidt, 2012). Wird die Schwierigkeit einer Aufgabe erhöht und lautet die Instruktion, ebenso schnell als auch genau weiter zu arbeiten, tritt die beschriebene Wechselwirkung zwischen den beiden Leistungsbereichen in Kraft. Die Verarbeitungskapazität des sensorischen Systems für die Bearbeitung einer Aufgabe ist begrenzt. So kann innerhalb einer bestimmten Zeit auch nur eine beschränkte

Informationsmenge verarbeitet werden (Welford, 1968). Die erhöhte Aufgabenschwierigkeit muss demnach vom sensorischen System kompensiert werden. Entsprechend des speed-accuracy trade-offs wird dazu eine der beiden Leistungen – Genauigkeit oder Geschwindigkeit – reduziert, um die andere aufrechterhalten zu können (Schmidt et al., 1979). Ein solches speed-accuracy trade-off hat sich im Zusammenhang mit Informationsverarbeitung in zahlreichen Studien gezeigt (Kounios, Montgomery & Smith, 1994; Kounios & Smith, 1995; Ratcliff, 2002).

Zusammenfassend konnte also die Annahme aus der ersten Fragestellung der vorliegenden Arbeit nicht bestätigt werden. Eine valide Darstellung der verwendeten Cues hatte eine verzögernde Wirkung auf die ausgeführten Sakkaden. Gleichzeitig wurden diese aber besonders genau vollzogen. Als begleitende Komponente im EEG wurde bei relevanten Durchgängen eine EDAN beobachtet. Bei irrelevanten Durchgängen wurde eine N2pc gefolgt von einer EDAN aufgezeichnet. Die Annahme aus der zweiten Fragestellung konnte bestätigt werden. Im Rahmen der Detektionsaufgabe wurde dazu zwar sowohl bei relevanten als auch bei irrelevanten Durchgängen eine neuronale Reaktion in Form einer N2pc beobachtet. Da diese aber in Gegenwart aufgabenrelevanter Reize deutlich stärker ausgeprägt war, kann von einer bedingten Aufmerksamkeit im Zusammenhang mit dem Lösen visueller Aufgaben gesprochen werden.

## Literaturverzeichnis

- Ansorge, U., Horstmann, G. & Carbone, E. (2005). Top-down contingent capture by color: evidence from RT distribution analyses in a manual choice reaction task. *Acta Psychologica, 120*, 243-266.
- Carrasco, M. (2011). Visual attention: The past 25 years. *Vision Research, 51*, 1484-1525.
- Deubel, H. & Schneider, W. X. (1996). Saccade target selection and object recognition: Evidence for a common attentional mechanism. *Vision Research, 36*, 1827-1837.
- Eimer, M. (1996). The N2pc component as an indicator of attentional selectivity. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology, 99*, 225-234.
- Filali-Sadouk, N., Castet, E., Olivier, E. & Zenon, A. (2010). Similar effect of cueing conditions on attentional and saccadic temporal dynamics. *Journal of Vision, 10*, 1-13.
- Fitts, P. M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology, 47*, 381-391.
- Folk, C. L. & Remington R. (2006). Top-down modulation of preattentive processing: Testing the recovery account of contingent capture. *Visual Cognition, 14*, 445-465.
- Folk, C. L., Remington, R. W. & Johnston, J. C. (1992). Involuntary Covert Orienting Is Contingent on Attentional Control Settings. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 18*, 1030-1044.

- Folk, C. L., Remington, R. W. & Wright, J. H. (1994). The Structure of Attentional Control: Contingent Attention Capture by Apparent Motion, Abrupt Onset, and Color. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 20, 317-329.
- Geyer, T., Müller, H. J. & Krummenacher, J. (2008). Expectancies modulate attentional capture by salient color singletons. *Vision Research*, 48, 1315-1326.
- Girelli, M. & Luck, S. J. (1997). Are the Same Attentional Mechanisms Used to Detect Visual Search Targets Defined by Color, Orientation, and Motion? *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9, 238-253.
- Godijn, R. & Theeuwes, J. (2004). The Relationship Between Inhibition of Return and Saccade Trajectory Deviations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, Vol. 30, 538-554.
- Gutteling, T. P., van Ettinger-Veenstra, H. M., Kenemans, J. L. & Neggers, S. F. W. (2010). Lateralized Frontal Eye Field Activity Precedes Occipital Activity Shortly before Saccades: Evidence for Cortico-cortical Feedback as a Mechanism Underlying Covert Attention Shifts. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22, 1931-1943.
- Helmholtz, H. v. (1896). Die neueren Fortschritte in der Theorie des Sehens [The more recent advances in the theory of seeing]. In *Vorträge und Reden, Erster Band* (pp. 265-366). Braunschweig: Vieweg.
- Henik, A., Rafal, R., & Rhodes, D. (1994). Endogenously generated and visually guided saccades after lesions of the human frontal eye fields. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 6, 400-411.

- Hoffman, J.E., Subramaniam, B. (1995). The role of visual attention in saccadic eye movements. *Perception & Psychophysics*, *57*, 787-795.
- Hopf, J. M., Luck, S. J., Girelli, M., Hagner, T., Mangun, G. R., Scheich, H. & Heinze, H. J. (2000). Neural Sources of Focused Attention in Visual Search. *Cerebral Cortex*, *10*, 1233-1241.
- Itti, L. & Koch, C. (2001). Computational modeling of visual attention. *Nature Reviews Neuroscience*, *2*, 194-203.
- Jasper, H. H. (1958). The ten-twenty electrode system of the International Federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *10*, 371-375.
- Juan, C. H., Shorter-Jacobi, S. M., & Schall, J. D. (2004). Dissociation of spatial attention and saccade preparation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *101*, 15541–15544.
- Kiss, M., Van Velzen, J. & Eimer, M. (2008). The N2pc component and its links to attention shifts and spatially selective visual processing. *Psychophysiology*, *45*, 240-249.
- Kounios, J., Montgomery, E. C. & Smith, R. W. (1994). Semantic memory and the granularity of semantic relations: Evidence from speed-accuracy decomposition. *Memory & Cognition*, *22* (6), 729-741.
- Kounios, J. & Smith, R. W. (1995). Speed-accuracy decomposition yields a sudden insight into all-or-none information processing. *Acta Psychologica*, *90*, 229-241.

- Luck, S. J., Girelli, M., McDermott, M. T. & Ford, M. A. (1997). Bridging the Gap between Monkey Neurophysiology and Human Perception: An Ambiguity Resolution Theory of Visual Selective Attention. *Cognitive Psychology*, 33, 64-87.
- Luck, S. J. & Hillyard, S. A. (1994a). Electrophysiological correlates of feature analysis during visual search. *Psychophysiology*, 31, 291-308.
- Luck, S. J. & Hillyard, S. A. (1994b). Spatial Filtering During Visual Search: Evidence From Human Electrophysiology. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 1000-1014.
- Patel, S. H. & Azzam, P. N. (2005). Characterization of N200 and P300: Selected Studies of the Event-Related Potential. *International Journal of Medical Sciences*, 2, 147-154.
- Posner, M.I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 3-25.
- Posner, M. I. & Cohen, Y. (1984). Components of Visual Orienting. *Attention and Performance*, 531-556.
- Posner, M. I. & Dehaene, S. (1994). Attentional networks. *Trends in Neurosciences*, 17, 75-79.
- Posner, M. I. & Rothbart, M. K. (2007). Research on Attention Networks as a Model for the Integration of Psychological Science. *Annual Review of Psychology*, 58, 1-23.
- Praamstra, P. & Kourtis, D. (2010). An early parietal ERP component of the frontoparietal system: EDAN≠N2pc. *Brain Research*, 1317, 203-210.

- Pratt, J., Sekuler, A. & McAuliffe, J. (2001). The role of attentional set on attentional cueing and inhibition of return. *Visual Cognition*, 8, 33-46.
- Ratcliff, R. (2002). A diffusion model account of response time and accuracy in a brightness discrimination task: Fitting real data and failing to fit fake but plausible data. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9 (2), 278-291.
- Rinkenauer, G., Osman, A., Ulrich, R., Müller-Gethmann, H. & Mattes, S. (2004). On the Locus of Speed–Accuracy Trade-Off in Reaction Time: Inferences From the Lateralized Readiness Potential. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133 (2), 261-282.
- Rizzolatti, G., Riggio, L., Dascola, I. & Umiltá, C. (1987). Reorienting attention across the horizontal and vertical meridians: Evidence in favor of a premotor theory of attention. *Neuropsychologia*, 25(1a), 31-40.
- Schmidt, R. A., Zelaznik, H., Hawkins, B., Frank, J. S. & Quinn, Jr., J. T. (1979). Motor-Output Variability: A Theory for the Accuracy of Rapid Motor Acts. *Psychological Review*, 86 (5), 415-451.
- Stephenson, W. A. & Gibbs, F. A. (1951). A balanced non-cephalic reference electrode. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 3, 237-240.
- Theeuwes, J. (1994). Stimulus-Driven Capture and Attentional Set: Selective Search for Color and Visual Abrupt Onsets. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 20, 799-806.

- Theeuwes, J. (2010). Top-down and bottom-up control of visual selection. *Acta Psychologica, 135*, 77-99.
- Theeuwes, J., Reimann, B. & Mortier, K. (2006). Visual search for featural singletons: No top-down modulation, only bottom-up priming. *Visual Cognition, 14*, 466-489.
- Van der Lubbe, R. H. J., Neggers, S. F.W., Verleger, R. & Kenemans, J. L. (2006). Spatiotemporal overlap between brain activation related to saccade preparation and attentional orienting. *Brain Research, 1072*, 133-152.
- Van der Lubbe, R. H. J. & Woestenburg, J. C. (1997). Modulation of early ERP components with peripheral precues: a trend analysis. *Biological Psychology, 45*, 143-158.
- Van Velzen, J. & Eimer, M. (2003). Early posterior ERP components do not reflect the control of attentional shifts toward expected peripheral events. *Psychophysiology, 40*, 827-831.
- 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.
- Wauschkuhn, B., Verleger, R., Wascher, E., Klostermann, W., Burk, M., Heide, W. & Kömpf, D. (1998). Lateralized Human Cortical Activity for Shifting Visuospatial Attention and Initiating Saccades. *Journal of Neurophysiology, 80*, 2900-2910.
- Welford, A. T. (1968). *Fundamentals of skill*. London: Methuen.

Wetter, O. E., Wegge, J., Jonas, K. & Schmidt, K.-H. (2012). Dual Goals for Speed and Accuracy on the Same Performance Task. Can They Prevent Speed-Accuracy Trade-Offs? *Journal of Personnel Psychology*, 11 (3), 118-126.

Zelinsky, G. J., Rao, R. P. N., Hayhoe, M. M. & Ballard, D. H. (1997). Eye Movements Reveal the Spatiotemporal Dynamics of Visual Search. *Psychological Science*, 8, 448-453.



## Tabellenverzeichnis

<p><i>Table 1:</i> Varianzanalyse der Detektionsaufgabe. Gewähltes Zeitfenster entspricht 160 bis 290 ms nach Darbietung des Detektionscues. Es zeigen sich ein Haupteffekt für den Faktor Lateralität sowie ein Interaktionseffekt zwischen den Faktoren Lateralität und Matching.....</p>	39
<p><i>Table 2:</i> Ausschnitt aus der Varianzanalyse der Sakkadenaufgabe. Gewähltes Zeitfenster entspricht 250 bis 450 ms nach Darbietung des Sakkadencues. Es zeigen sich ein Haupteffekt für den Faktor Lateralität sowie zwei Interaktionseffekte zwischen den Faktoren Lateralität und Matching als auch Hemisphäre und Matching.....</p>	42
<p><i>Table 3:</i> Ausschnitt aus der Varianzanalyse der Sakkadenlatenzen der Eyetrackeraufzeichnung. Die ANOVA zeigt einen Haupteffekt für den Faktor Matching.....</p>	46
<p><i>Table 4:</i> Sakkadengenauigkeit bei relevanten Durchgängen. Es werden vier Gruppen nach der Art der Cuedarstellung unterschieden: valide (selbe Bildschirmseite als auch Höhe der beiden Cues), selbe Seite – andere Höhe (sS – aH), andere Seite – selbe Höhe (aS – sH) und andere Seite – andere Höhe (aS – aH). Die Genauigkeiten werden pro teilnehmende Person in Pixel angegeben, wobei ein Pixel einer Abweichung von etwa einer Sekunde vom korrekten Zielort der Sakkade entspricht. Je größer der Wert, desto ungenauer wurde die Sakkade also ausgeführt. Außerdem werden die Durchschnittsgenauigkeiten pro Gruppe dargestellt. Bei valider Cuedarstellung fielen die Sakkaden zum Zielort des Sakkadencues am genauesten aus.....</p>	47



## Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1:* Schematische Darstellung des Experimentablaufs. Das Inter-Stimulus-Intervall von 450 ms signalisiert einen leeren Bildschirm ohne Reizdarbietung. Der Detektionscue auf der ersten Anzeige wurde hier in blau präsentiert und befindet sich links unten. Der Sakkadencue auf der zweiten Anzeige liegt rechts oben. Das Beispiel zeigt demnach einen nicht validen Durchgang.....36
- Abbildung 2:* Durchschnitt aller ereigniskorrelierten Potentiale der beiden Elektroden bei P3 und P4 entsprechend des 10-20-Systems (Jasper, 1958) von allen Durchgängen, allen Bedingungen und allen Teilnehmenden bei einem ISI von 450 ms zwischen Cueanzeige aus der Detektionsaufgabe und jener aus der Sakkadenaufgabe.....37
- Abbildung 3:* Darstellung der EEG-Auswertung für die Detektionsaufgabe. Zu sehen sind die Differenzwerte vergleichbarer Elektrodensignale unterschiedlicher Hemisphären (kontra- und ipsilateral zum Cue). Jenes für eine N2pc kritische Zeitfenster von 160 bis 290 Millisekunden nach der Reizdarbietung wurde zur Verdeutlichung mit zwei vertikalen Linien markiert.....39
- Abbildung 4:* Darstellung der EEG-Auswertung für die Sakkadenaufgabe. Zu sehen sind die Differenzwerte vergleichbarer Elektrodensignale unterschiedlicher Hemisphären (kontra- und ipsilateral zum Cue). Jenes für eine EDAN kritische Zeitfenster von 250 bis 450 Millisekunden nach der Reizdarbietung wurde zur Verdeutlichung mit zwei vertikalen Linien markiert.....42

*Abbildung 5:* Darstellung der EEG-Auswertung für die Sakkadenaufgabe, unterschieden nach der relativen Position der Cues aus Detektionsaufgabe und Sakkadenaufgabe auf dem PC-Bildschirm. Detektionscues und Sakkadencues werden in der Grafik mit „DC“ und „SC“ abgekürzt.....43

*Abbildung 6:* Balkendiagramm der Sakkadenlatenzen, unterschieden nach der Art der Durchgänge (relevant vs. irrelevant) und der Art der Cuedarstellung: valide (selbe Bildschirmseite als auch Höhe der beiden Cues), selbe Seite – andere Höhe (sS – aH), andere Seite – selbe Höhe (aS – sH) und andere Seite – andere Höhe (aS – aH). Bei relevanten Durchgängen fiel die Zeit bis zum Einsetzen der Sakkade zum Zielort des Sakkadencues kürzer aus. Valide Cuedarstellungen forderten innerhalb der relevanten Durchgänge die längsten Sakkadenlatenzen.....46

*Abbildung 7:* Balkendiagramm der Durchschnittswerte zu den Sakkadengenauigkeiten aus Tabelle 4. Die Unterteilung in vier Gruppen wird wie bei Tabelle 4 beschrieben beibehalten.....47

## Curriculum Vitae

**Name:** Hanna Sieczka  
**Adresse:** Hasnerstraße 116/19  
 1160 Wien  
**Mobilnr.:** 0680/1319504  
**E-Mail:** hannasieczka@gmail.com



**Geburtsdatum:** 22.01.1984  
**Geburtsort:** Świebodzice – Polen  
**Staatsbürgerschaft:** Österreich

### Ausbildung:

- **2005 – aktuell:** Diplomstudium der Psychologie, Universität Wien (nebenberuflich)
- **1995 – 2003:** Akademisches Gymnasium Salzburg  
Matura mit ausgezeichnetem Erfolg  
Schwerpunkte: Psychologie und Philosophie, Deutsch, Englisch, Mathematik und Religion
- **1991 – 1995:** Volksschule Grödig (Salzburg)

### Praktika:

- **2012: 6-Wochen-Praktikum bei ÖHTB Wien.**  
Unterstützung bei der Betreuung und Begleitung der KlientInnen in der Einrichtung;  
Unterstützung im Bereich Arbeiten und Anleitung im lebenspraktischen Bereich;  
Förderung von sozialer Kompetenz;  
Planung und Durchführung von Lern- und Fördereinheiten;  
Teilnahme an Fallbesprechungen
- **Ferialpraktikum 2005, 2006, 2007 & 2008 bei Lebenshilfe Salzburg.**  
I. Intensivbetreuung im Rahmen der Kinderferienaktion der Lebenshilfe Salzburg:  
Arbeit mit mehrfach geistig und körperlich behinderten Kindern;  
Kompetenzbereich u.a. Organisation und Freizeitgestaltung, Lebensbegleitung und Körperhygiene;  
II. Begleitung erwachsener Menschen im Alltagsbereich betreuter Einrichtungen

### Arbeitserfahrung:

- **2011 – aktuell: Bergfuchs Wien.**  
Fachberatung und Verkauf im Bereich Bergsportausrüstung
- **2007 – 2011: Jack Wolfskin Store Wien.**  
Fachberatung und Verkauf im Bereich Outdoorbekleidung
- **2006 – 2007: Fessel GfK Wien.**  
Computerbasierte Markt- und Meinungsforschung  
Erfahrung mit dem Programm CATI

**Private Fortbildung:**

- **2012:** Ausbildung zur **Instruktorin für alpines Klettern**
- **2007:** Lehrgang zur **Übungsleiterin Sportklettern** über das ITK Salzburg (Institut für therapeutisches Klettern)

**Sprachkenntnisse:**

- **Deutsch:** Muttersprache
- **Polnisch:** Muttersprache
- **Englisch:** Sehr gut, mündlich sowie schriftlich  
Cambridge „Certificate in Advanced English“

**EDV-Kenntnisse:**

- Power Point, Word, Excel, Outlook

**Private Interessen:**

- Bergsport: Schitouren, Hochtouren, Alpinklettern, Bergsteigen
- Hobbyschriftstellerei: Kurzgeschichten, Gedichte

**Sonstiges:**

- Führerschein Klasse B