



universität
wien

MASTERARBEIT/ MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit/ Titel of the Master's Thesis

**„Auswirkungen der Aufgabenstellung
(Einfach- vs. Doppelaufgabe)
auf kontra- ipsilaterale EKP-Differenzen“**

verfasst von/ submitted by

Julia Steininger, BSc

angestrebter akademischer Grad/ in partial fulfilment of the requirements for the
degree of

Master of Science (MSc)

Wien, 2017/ Vienna, 2017

Studienkennzahl lt. Studienblatt/

degree programme code as it appears on

the student record sheet:

A066 840

Studienrichtung lt. Studienblatt/

degree programme as it appears on

the students record sheet:

Masterstudium Psychologie

Betreut von/ Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Ulrich Ansorge

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei meiner Familie, meinem Freund und meinen Freunden für ihre Geduld, Motivation sowie ständige Unterstützung in jeder Hinsicht während der gesamten Studienzeit bedanken.

Auch danke ich Prof. Dr. Ulrich Ansorge für seine enthusiastische Art, Lehrstoff zu vermitteln und dadurch immer wieder neues Interesse zu wecken sowie für seine Zeit und Bemühungen zur Betreuung meiner Masterarbeit.

Dank gilt auch Dr. Christoph Huber-Huber, welcher für Fragen stets zur Verfügung stand und mit tatkräftiger Unterstützung einen wichtigen Beitrag zur Fertigstellung dieser Arbeit leistete.

Zusammenfassung

Die Prämotortheorie geht davon aus, dass jede Augenbewegung vorbereitet werden muss. Dies geschieht mittels verdeckter Aufmerksamkeitsverlagerung vor Ausführung der Sakkade hin auf das Sakkadenziel. Bisher wurde dies anhand von Doppelaufgaben untersucht, wobei zusätzlich zur Augenbewegung ein Diskriminationstarget bearbeitet werden musste. Da jedoch ein konfundierender Einfluss der zweiten Aufgabe nicht ausgeschlossen werden kann, sollten in der vorliegenden Studie Doppelaufgaben direkt mit Einfachaufgaben verglichen werden. Dabei sollten 36 Probanden Augenbewegungen hin auf den richtigen Farbkreis (Einfachaufgabenbedingung) ausführen und in Doppelaufgabenbedingung zusätzlich die Richtung des asymmetrisch verschobenen Kreuzes angeben. Bei Doppelaufgaben konnten Sakkadentarget (ST) und Diskriminationstarget (DT) auf gleicher Stelle, gleicher Seite aber unterschiedlicher Stelle oder auf gegenüberliegenden Seiten gezeigt werden. Gemessen wurde mittels Eyetracker und EEG. Anhand kontra-ipsilateraler Differenzen sollte das Auftreten von verdeckter Aufmerksamkeitsverlagerung untersucht werden (EKP-Komponente N2pc). Erwartet wurde, dass (1) kontra- ipsilaterale Differenzen (i.S. einer N2pc) bei Doppelaufgaben negativer im Vergleich zu Einfachaufgaben ausfallen; (2) die Sakkadenlatenz kürzer sei, wenn ST und DT an derselben Stelle (räumlicher Kongruenzeffekt) bzw. (3) auf gleicher Seite (Prämotor-Theorie) präsentiert wurden; (4) die Sakkadenlatenz in Doppelaufgaben länger sei.

Hypothese (2) und (4) konnten bestätigt werden. Hypothese (1) wurde widerlegt – ein gegenläufiger Trend war der Fall – Probanden wiesen in Doppelaufgabenbedingung eine positivere kontra- ipsilaterale Differenz auf, was auf eine Inhibition des STs hinweisen könnte. Dass sich die Aufmerksamkeitsverlagerung aus den Verhaltensdaten nicht in den elektrophysiologischen Daten widerspiegelte, könnte aber daher rühren, dass die N2pc womöglich kein Marker prä-sakkadisch visuell-räumlicher Aufmerksamkeitsverlagerung ist. In der vorliegenden Arbeit wird in einigen Ansätzen versucht, diese Ergebnisse zu erläutern.

Schlüsselbegriffe: Zeitliche Anpassung, Temporal Alignment, kontra- ipsilaterale Differenzen, N2pc, verdeckte Aufmerksamkeitsverlagerung

Abstract

The premotor theory of attention assumes that every eye movement has to be prepared by covert attention shifts before the saccade is executed. So far, this has been examined with dual tasks – in addition to eye movements a discrimination target (DT) had to be edited. To find out if the second task has a confounding influence, dual tasks should be compared with single tasks. 36 participants should perform eye movements towards a colored saccade target (ST; single-task condition) and additionally specify the direction of an asymmetrically shifted cross (dual-task condition). The ST and the DT could be shown in the same place, on the same side or on opposite sides. It was measured with eye tracker and EEG. Based on contra-ipsilateral differences, the occurrence of covert attention shifts should be investigated (ERP-component N2pc). It was expected that (1) contra-ipsilateral differences would be more negative in dual tasks; (2) the saccadic latency was shorter when ST and DT were presented at the same place (spatial congruence effect), (3) on the same side (premotor theory); (4) the saccade latency was longer in dual tasks.

Hypothesis (2) and (4) could be confirmed. Hypothesis (1) was refuted – there was an opposite trend – there was more positive contra-ipsilateral difference in dual-task condition, possibly indicating an inhibition of the ST. The electrophysiological data didn't reflect the findings of behavioral data, maybe because the N2pc may not be a marker of pre-saccadic visuo-spatial attention shifting. In the present work some attempts are made to explain these results.

Key words: contra- ipsilateral difference, N2pc, temporal alignment, covert attention

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	11
2. Fragestellungen	19
3. Methode	19
3.1 Versuchspersonen	19
3.1.1 Experiment 1 (mit Randomisierungsfehler).....	19
3.1.2 Experiment 2 (ohne Randomisierungsfehler).....	20
3.2 Untersuchungsdesign	21
3.3 Stimuli	21
3.4 Ablauf.....	23
3.5 Messinstrumente	26
3.6 EEG-Datenverarbeitung und Analyse.....	26
3.7 Zeitliche Anpassung von EEG-Epochen mit ausgeführten Augenbewegungen.....	28
4. Ergebnisse	30
4.1 Diskriminationsleistung in validen vs. invaliden Versuchbedingungen.....	30
4.2 Reaktionszeiten für valide und invalide Versuchsbedingungen	33
4.3 Sakkaden-Latenzen	34
4.4 Zeitlich angepasste EKPs.....	37
4.4.1 Effekte der Aufgabenstellung zwischen Einfach- und Doppelaufgaben.....	40
5. Diskussion	45
5.1 Verhaltensdaten.....	45
5.2 EEG-Daten	48
5.2.1 Prä-sakkadische EKPs.....	48
5.2.2 Sakkadische EKPs	52
Abschließende Bemerkungen.....	54
Literatur	55
Abbildungsverzeichnis	60
Tabellenverzeichnis	60
Abkürzungsverzeichnis	60

1. Einleitung

Die Augen des Menschen sind stets in Bewegung und nehmen dabei willkürlich oder unwillkürlich Objekte der Umwelt wahr. Es gibt verschiedene Arten von Augenbewegungen, welche wesentliche Bestandteile zur Wahrnehmung visueller Reize darstellen. Dabei machen Sakkaden, auch Blickzielbewegungen genannt, in Abwechslung mit Fixationen den größten Teil aus. Sakkaden sind schnelle, ballistische Augenbewegungen von einem Ort zum nächsten. Wir Menschen machen etwa 3 bis 4 Sakkaden in der Sekunde. Dies dient der Neuausrichtung der Fovea, dem Punkt des schärfsten Sehens, um interessierende Orte in den Fokus des Blickes zu bewegen. Auch wenn dieser offensichtliche Grund schon vielfach untersucht wurde, sind Zusammenhänge anderer kognitiver Funktionen mit Sakkaden noch nicht ausreichend erforscht. In der folgenden Studie soll der Zusammenhang von Sakkaden mit räumlich-visueller Aufmerksamkeit näher betrachtet werden.

Räumlich-visuelle Aufmerksamkeit bezeichnet die Tatsache, dass Menschen visuelle Informationen aus einem begrenzten Bereich des visuellen Feldes wählen (Alvarez, 2013; Posner, 1980). Wir sind stetig von zahlreichen Umweltreizen umgeben, welche aufgrund begrenzter Verarbeitungskapazität nicht alle gleichermaßen verarbeitet werden können. Darum ist es wichtig, wesentliche Informationen zugunsten der erfolgreichen Bewältigung von Aufgaben so zu selektieren, dass diese Informationen entsprechend weiterverarbeitet werden können. Nicht beachtete Information wird dabei weitgehend ausgeblendet. In der heutigen Forschung zu visuellen Aufmerksamkeitsprozessen werden zwei Arten von Aufmerksamkeitsverlagerung von einem Ort zum anderen unterschieden. Diese kann dabei mit oder ohne offensichtliche Augenbewegung vonstatten gehen. Von *offener Aufmerksamkeitsverlagerung* wird gesprochen, wenn dabei Kopf- oder Augenbewegungen von außen zu beobachten sind (Posner, 1980). *Verdeckte Aufmerksamkeitsverlagerung* hingegen ist nicht mit bloßem Auge beobachtbar und dadurch schwieriger zu erfassen. Der Ort der Aufmerksamkeit ist also nicht notwendigerweise der Fixationsort der Augen – man kann die Aufmerksamkeit, während an einen Punkt geschaut wird, auch bis zu einem gewissen Grad an einen anderen Ort lenken. Jedoch ist die visuelle Genauigkeit am Fixationsort am besten, etwa beim Erkennen von Details. Deshalb wird von einem starken Zusammenhang zwischen Augenbewegungen und Aufmerksamkeitsverlagerung ausgegangen (Deubel & Schneider, 1996; Rizzolatti, Riggio, Dascola & Umiltà, 1987). Solch ein Zusammenhang kann auf den Grundlagen der so genannten *Prämotor-Theorie*

hergestellt werden. Es besteht dabei die Annahme, dass Augenbewegungen und Aufmerksamkeitsverlagerung womöglich die gleichen Kontrollmechanismen zugrunde liegen.

Die Prämotor-Theorie der Aufmerksamkeit geht davon aus, dass jede Sakkade vorbereitet werden muss (Rizzolatti et al., 1987). Diese Vorbereitung passiert anhand der Verlagerung der Aufmerksamkeit hin auf das voraussichtliche Sakkadenziel. Dieser Theorie nach beruhen Aufmerksamkeit und motorische Vorbereitung, im Besonderen Augenbewegungen, auf demselben neuronalen Substrat (Ward, 2015, S.154). Dabei ist es möglich, dass Sakkaden vorbereitet werden, welche nicht ausgeführt werden, weil die Aufmerksamkeit z.B. an einen anderen Ort gelenkt wird (d.h. verdeckte Aufmerksamkeitsverlagerungen). Es kann dieser Theorie zufolge jedoch keine Sakkade ohne Vorbereitung ausgeführt werden. Die Programmierung einer Sakkade setzt sich aus Richtung und Amplitude zusammen. So ist die Dauer, die notwendig ist, um eine Sakkade zu programmieren, abhängig von deren Eigenschaften – die Neuprogrammierung von Richtung und Amplitude (z.B. zu einem Target auf der gegenüberliegenden Bildschirmseite) dauert dabei länger als nur die Amplitude neu zu programmieren (z.B. zu einem Target auf der gleichen Bildschirmseite). Dieser Zusammenhang von Aufmerksamkeit und Augenbewegungen wurde vielfach anhand von psychophysischen Doppelaufgaben untersucht (Born, Ansorge & Kerzel, 2012; Deubel & Schneider, 1996; Hoffman & Subramaniam, 1995; Kowler, 2011).

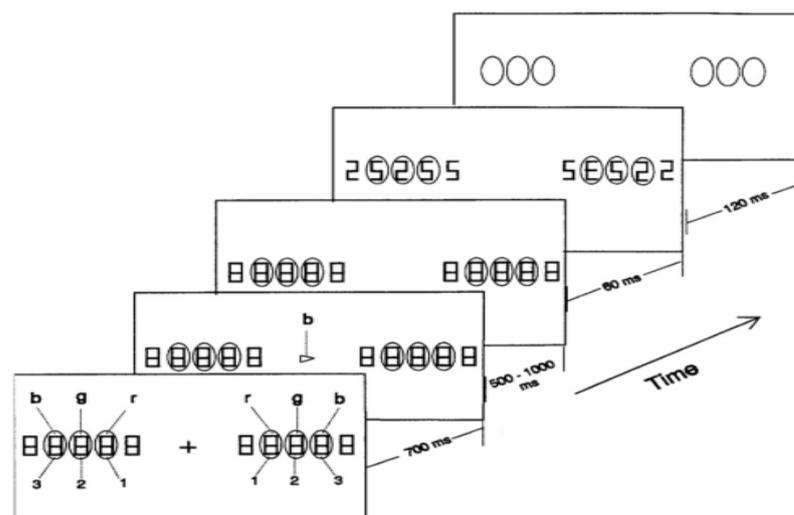


Abbildung 1. Klassische Doppelaufgabe bei Deubel und Schneider (1996). Die VP fixiert erst ein Kreuz in der Bildschirmmitte. Links und rechts davon befinden sich 5 Kästchen, wobei die mittleren 3 jeweils von bunten Ellipsen in rot, grün und blau (hier gekennzeichnet mit r, g und b) umkreist sind. Ein farbiger Pfeil deutet daraufhin

auf die Seite, auf der das Kästchen in dieser Farbe fixiert werden soll. Auf dieses Item hin (hier blauer Pfeil nach rechts bedeutet Position 3 auf der rechten Seite) soll eine Sakkade ausgeführt werden, sobald der Pfeil verschwunden ist (nach 500-1000 ms). Nach weiteren 60 ms werden die DTs (richtiges oder spiegelverkehrtes E) und Maskierungen (Zahl 2 bzw. 5 in Digitalschrift) für 120 ms präsentiert, welche jedoch noch vor Sakkadenbeginn wieder verschwunden sind. Die VP soll also zuerst eine Sakkade hin auf das farbige Sakkadenziel ausführen und anschließend eine Diskriminationsaufgabe bearbeiten (z.B. hier in welche Richtung das E ausgerichtet war).

Bei klassischen Doppelaufgaben (z.B. Deubel & Schneider, 1996; siehe Abbildung 1) mussten Probanden Augenbewegungen hin auf ein Sakkadentarget (ST) ausführen und zusätzlich ein Diskriminationstarget (DT) an derselben oder einer anderen Stelle am Bildschirm bearbeiten. Die Ergebnisse sprachen für eine wesentlich bessere Diskriminationsleistung, wenn der Ort des STs und des DTs übereinstimmten, als wenn das DT an einer anderen Stelle präsentiert wurde. Dies war sogar dann der Fall, wenn die Versuchspersonen (VPn) von vornherein wussten, an welcher Stelle das DT erscheinen würde. Solche so genannten *räumlichen Kongruenz-Effekte* wurden als Anzeichen dafür gedeutet, dass die Aufmerksamkeit bereits vor Sakkadenbeginn an den Ort des STs verlagert wurde (Deubel & Schneider, 1996). So konnte davon ausgegangen werden, dass es sich nicht um bloße unwillkürliche Aufmerksamkeitsverlagerung durch z.B. einen Hinweispfeil handelte (z.B. Hermens & Walker, 2010). Da verdeckte Aufmerksamkeitsverlagerung in bisherigen Studien nur anhand derartiger Doppelaufgaben untersucht wurde, kann ein konfundierender Einfluss der zweiten Aufgabe dabei jedoch nicht ausgeschlossen werden. Diese Arbeit widmet sich nun der Untersuchung des Einflusses der Art der Aufgabenstellung anhand einer direkten Gegenüberstellung von Einfach- und Doppelaufgaben.

Bereits in einer direkten Vorstudie sollte eine Gegenüberstellung verschiedener Aufgabenstellungen untersucht werden. Huber-Huber, Ditye, Fernández und Ansorge (2016) verwendeten eine zweite auszuführende Sakkade als unkonventionelle Art der Doppelaufgabe im Vergleich zu nur einer auszuführenden Sakkade (nähere Ausführung siehe unten). In klassischen Doppelaufgaben werden DTs üblicherweise wenige Millisekunden vor Sakkadenbeginn präsentiert. Aufmerksamkeitsverlagerungen könnten natürliche Tendenzen darstellen. Sie könnten aber auch strategisch bedingt sein. Da sich

VPn darüber bewusst sind, dass DTs vor Ausführung der Sakkade zu sehen sind, könnten sie absichtlich den Sakkadenbeginn verzögern (Kristjánsson, Chen & Nakayama, 2001), um das DT besser beachten zu können. Damit erhöht die Vorgabe einer zweiten Aufgabe die Sakkadenlatenz, also die Zeit vom Stimulusbeginn bis zum Einsetzen der Sakkade hin auf diesen Stimulus. Auch die Eigenschaften der Stimuli spielen eine Rolle.

Born et al. (2012) haben sich u.a. damit beschäftigt, inwieweit eigenschaftsbasierte Aufmerksamkeit – im Vergleich zu räumlicher Aufmerksamkeitsverlagerung wie z.B. Deubel & Schneider (1996) – vor dem Eintritt von Sakkaden ausgelöst wird. Ihre Untersuchungen zeigten, dass eine schnellere Wahrnehmungsverarbeitung möglich war, wenn ST und DT in derselben Farbe präsentiert wurden, insbesondere wenn die Zuteilung der Zielfarbe innerhalb des Experiments konstant blieb. Passt die Eigenschaft, in dem Fall die Farbe, zu dem konstruierten Suchsetting (d.h. absichtsorientiert bzw. „top-down“), hilft dies dabei, die Aufmerksamkeit darauf zu lenken, wodurch schneller und effektiver reagiert werden kann (Ansorge, Kiss, Worschech, & Eimer, 2011; Eimer & Kiss, 2008; Folk & Remington, 1992). Der Einfluss der Farbähnlichkeit war sogar zu beobachten, wenn ST und DT an unterschiedlichen Stellen am Display präsentiert wurden und fiel damit stärker aus als der räumliche Kongruenzeffekt. Auch im aktuellen Experiment wurde den VPn je eine von vier Farben als konstanter Zielreiz zugewiesen.

Erst seit kurzer Zeit begannen Forscher (Eimer, Van Velzen, Gherri & Press 2007; Gutteling, van Ettinger-Veenstra, Kenemans & Neggens, 2010; Krebs, Boehler, Zhang, Schoenfeld & Woldorff, 2012; Wauschkuhn et al., 1998; Weaver, Van Zoest & Hickey, 2016) räumlich-visuelle Aufmerksamkeit mittels Ereigniskorrelierter Potentiale (EKPs) im Elektroenzephalogramm (EEG) zu untersuchen. Dabei wurden u.a. kontra- ipsilaterale Differenzen an posterioren Elektroden entdeckt (z.B. Krebs et al., 2012). Heute gilt die EKP Komponente N2pc als Marker verdeckter Aufmerksamkeitsverlagerung. Diese entspricht einer negativen Kurve, welche etwa 180-290 ms nach Reizdarbietung auftritt und am stärksten an den posterioren Elektrodenpositionen PO7 (links) bzw. PO8 (rechts) über dem visuellen Cortex gemessen wird (Eimer, 1996; Luck & Hillyard, 1994). Die Komponente errechnet sich aus der Differenz kontra- zu ipsilateraler Signale dieser Elektrodenpositionen und fällt kontralateral zum beachteten Stimulus negativer aus. Sie ist auch bekannt als „Posterior Contralateral Negativity“ (PCN; Wolber & Wascher, 2005). Sie tritt bspw. bei aktiver Auswahl relevanter Reize auf, ist also angenommener Weise zielorientiert (Eimer, 1996). In der aktuellen Studie wurde eine solche Differenz im Sinne einer

Aufmerksamkeitsverlagerung hin zum ST erwartet, wenn VPn Doppelaufgaben bearbeiten mussten im Gegensatz dazu, wenn eine Einfachaufgabe durchzuführen war. In diesem Fall wurde keine N2pc erwartet. Diese Annahmen ergaben sich aus der Vorstudie von Huber-Huber et al. (2016), bei welcher Einfach- und Doppelaufgaben gegenübergestellt wurden, um so den möglichen Einfluss der zweiten Aufgabe untersuchen zu können.

Huber-Huber et al. (2016) verwendeten EKPs zum Untersuchen der Ausrichtung räumlich-visueller Aufmerksamkeit vor und während Sakkaden, da diese Methode ein Maß der Aufmerksamkeit auch ohne Vorgabe einer zweiten Aufgabe erlaubt. Erwartet wurde eine Verlagerung der Aufmerksamkeit hin zum farbigen Target etwa während der letzten 100 ms vor Sakkadenbeginn (Deubel, 2008), wobei sich die Aufmerksamkeit in diesem Zeitraum theoretisch auch noch bis zu einem gewissen Grad an andere Orte verlagern kann (Born et al., 2012; Mongagnini & Castet, 2007). VPn mussten entweder eine Sakkade hin auf ein einzeln präsentiertes ST, eine Sakkade auf eines von zwei STs oder zwei Sakkaden auf beide präsentierten STs ausführen. Hierbei entsprach die Aufgabenstellung mit zwei auszuführenden Sakkaden einer Doppelaufgabe verglichen mit Einfachaufgaben (d.h. nur eine auszuführende Sakkade). Es wurden Unterschiede zwischen Präsentation von einem vs. zwei STs erwartet, wenn 2 STs auf einer Seite vs. auf gegenüberliegender Seite präsentiert wurden (Prämotor-Theorie) und wenn eine Sakkade vs. wenn zwei auszuführen waren (Effekt der Aufgabenstellung). Dabei wurde erwartet, dass die Sakkadenlatenz länger wäre, wenn 2 STs präsentiert wurden im Gegensatz zu nur einem, da die gleichzeitig präsentierten farbigen Targets beide Aufmerksamkeit auf sich ziehen würden. Zudem sollte die Latenz länger dauern, wenn auch zwei Sakkaden auszuführen waren im Vergleich zu Einfachaufgaben mit nur einer auszuführenden Sakkade. Es wurde auch angenommen, dass die Anordnung der Targets eine Rolle spielen würde, indem zwei Targets auf der gleichen Seite weniger Neuprogrammierung benötigen würden als 2 Targets auf unterschiedlichen Seiten (Rizzolatti et al., 1987). Es wurde daher – angenommen beide Sakkaden wurden noch vor Ausführung der ersten Sakkade programmiert (Becker & Jürgens, 1979) – eine verzögerte Sakkadenlatenz der ersten Sakkade erwartet im Falle zweier Targets auf gegenüberliegenden Seiten.

Gemessen werden sollte die Ausrichtung der Aufmerksamkeit anhand von kontralateralen Differenzen im Sinne einer N2pc, also mittels Lateralitätseffekten in EKPs an posterioren Elektroden (PO7/PO8). Dabei wurden EKPs erwartet, welche aufgrund einer Aufmerksamkeitsverlagerung hin auf das Sakkadenziel kontralateral negativer als ipsilateral

zum beachteten Target ausfallen würden. Die Annahme, dass Sakkadenlatenzen der ersten Sakkade kürzer wären, wenn zwei Targets auf gleicher Seite vs. gegenüberliegender Seite präsentiert wurden, konnte bestätigt werden. Außerdem konnte erwartungsgemäß ein stärkerer Lateralitätseffekt, also eine erhöhte kontra- ipsilaterale Differenz für zwei gleichseitige vs. zwei gegenüberliegende Targets festgestellt werden. Es war jedoch kein Effekt der Aufgabenstellung zu finden. Dabei konnten keine wesentlichen Unterschiede der kontra- ipsilateralen Differenzen zwischen 2 Target- vs. 1 Target- Bedingungen als auch zwischen Einfach- und Doppelaufgaben (d.h. einer vs. zwei auszuführenden Sakkaden, sofern beide Targets auf gleicher Seite gelegen) beobachtet werden.

Aufgrund der Tatsache, dass in der Untersuchung von Huber-Huber et al. (2016) in Bedingungen mit nur einem Target keine bzw. nur minimalste kontra- ipsilaterale Differenzen vor Sakkadenbeginn festzustellen waren und zugleich der Vergleich von ein- mit zwei-Target Bedingungen nicht signifikant ausfiel, sollte die Frage nach dem Einfluss der Aufgabenstellung nun in der aktuellen Studie noch einmal aufgegriffen werden. Dabei sollten erneut Einfach- mit Doppelaufgaben anhand einer größeren VPn-Anzahl direkt miteinander verglichen werden. Die nicht signifikanten Ergebnisse könnten womöglich auf eine zu kleine VPn-Anzahl und zu wenige auszuwertende Durchgänge zurück zu führen sein, weshalb diese Vermutung durch das weitere Experiment ausgeschlossen oder bestätigt und die möglichen Effekte der Art der Aufgabenstellung erneut betrachtet werden sollten. Das Experiment wurde anstatt mit der unkonventionellen Doppelaufgabe (zweite auszuführende Sakkade) mit einer typischen Doppelaufgabe durchgeführt, wobei zusätzlich zur Sakkade ein Diskriminationstarget (DT) zu bearbeiten sein sollte.

Zeitliche Anpassung der EEG-Epochen (Temporal Alignment)

Corneoretinale Potentiale, d.h. Potentialdifferenzen zwischen Retina und Hornhaut, entstehen durch Augenbewegungen und führen zu Artefakten im EEG-Signal, welche stimulusabhängige EKPs verstärken können (Luck, 2005). Es können dadurch auch kontra- ipsilaterale Differenzen an posterioren Elektroden beeinträchtigt werden. Die Umgangsweise mit diesem Problem ist sehr unterschiedlich. Meist werden solche Artefakte einfach korrigiert, also beeinträchtigte Signale vom gesamten EEG-Signal entfernt (Wauschkuhn et al., 1998), oder ähnlich mittels „Independent Component Analysis“ (ICA), wobei auch durch Augenbewegung (mit)erzeugte Aktivität entfernt wird (Weaver, Zoest & Hickey, 2015). Oft werden nur Durchgänge verwendet, welche frei von Artefakten sind. Eine weitere

Möglichkeit ist die Beschränkung auf bestimmte Mindest-Latenzzeiten (Eimer et al., 2007; Krebs et al., 2012), welche auch durch künstliche Verzögerung des Sakkadenbeginns erreicht werden kann (Van der Lubbe, Neggers, Verleger & Kenemans, 2006). Für die Vorläufer- und die vorliegende Studie war jedoch v.a. die Zeitspanne vor Sakkadenbeginn relevant und damit Methoden zur Korrektur von Augenbewegungsartefakten wie Löschen von Signalen, Verzögern von Latenzen oder Einschränken auf langsame Sakkaden nicht notwendig. Es wurde ein anderer, bisher für EEG-Verarbeitung unkonventioneller Ansatz gewählt. Vor der Mittelung wurden alle EEG-Daten Epochen zeitgleich auf gemeinsamen Ereignisse synchronisiert: ST-Beginn, Sakkaden-Beginn und Sakkaden-Ende, wobei diese Epochen individuelle Längen aufwiesen. Baseline, DT-Beginn und der Zeitraum 200 ms nach Sakkadenende stimmten ohnehin für alle VPn überein, da sie immer zum gleichen Zeitpunkt auftraten und mussten deshalb nicht auf diese Weise angepasst werden.

Die Grundlage, diese Methode auch für die Anpassung prä-sakkadischer EKPs auf Sakkadenlatenzen anzuwenden, findet seinen theoretischen Hintergrund im so genannten LATER-Modell (Linear Approach to Threshold with Ergodic Rate). In diesem Modell gibt es ein Entscheidungssignal, das von einem Startpunkt aus beginnt und sich einer Schwelle annähert. Ist dieser Schwellenwert erreicht, wird die Entscheidung für eine bestimmte Aktion getroffen. Es geht dabei um eine Anhäufung sensorischer Evidenz für eine bestimmte Hypothese in linearer Weise (Noorani, 2015). In diesem Fall beschreibt es, dass Sakkadenlatenzen aus der linearen Anhäufung von Hinweisen hin zu einem sakkadischen Schwellenwert mit variierender Anstiegsrate und variierender Verteilung von Rauschen resultieren (Carpenter, 1981; Carpenter & Williams, 1995). Aus Sicht des LATER Modells beseitigt die zeitliche Anpassungsprozedur sakkadenunabhängiges Rauschen von prä-sakkadischer Aktivität.

Huber-Huber et al. (2016) verwendeten die Methode der zeitlichen Anpassung von Subepochen interessierender Ereignisse im EEG, womit prä-sakkadische artefaktfreie und sakkadische, durch Augenbewegungen verunreinigte EKPs isoliert werden konnten. Dabei werden Subepochen (z.B. von Stimulusbeginn bis Sakkadenbeginn) abhängig von ihrer individuellen Länge unterschiedlich stark skaliert. Es befinden sich unterschiedlich viele Datenpunkte in diesen individuellen Subepochen. Nach Ermittlung eines Mittelwertes jeder einzelnen Subepoche über alle VPn, Durchgänge und Bedingungen werden in gleichen Abständen einzelne Datenpunkte weggenommen oder hinzugefügt und die Epoche damit gekürzt oder gestreckt. Nach dieser Anpassung ist die gleiche Anzahl an Datenpunkten für

jede angepasste Subepoche verfügbar, unabhängig davon, wie lang die absolute Dauer dieser Subepochen zuvor gewesen ist. Die Skalierung der Daten findet demnach nur im zeitlichen Bereich statt, die Amplitude wird nicht betroffen. Gemittelte Amplituden von EKPs über alle VPn und Durchgänge werden sogar durch diesen Vorgang verstärkt, die Verteilung also deutlicher sichtbar. Aussagen über zeitliche Angaben von EEG Komponenten sind dabei nur mehr bedingt möglich. Dazu ist es notwendig zusätzlich die unveränderte Länge der individuellen Subepochen zu betrachten. In der aktuellen Untersuchung ist die genaue zeitliche Komponenten der EKP-Amplituden jedoch nicht von solch großer Bedeutung wie deren Verteilung, weshalb diese Methode einen sehr nützlichen Ansatz darstellt.

Die Methode der zeitlichen Anpassung hat ihren Ursprung in der Pupillometrie. Klingner (2010) konstruierte fixations-angepasste Pupillenantworten, wobei synchronisierte Messungen von Blickrichtung und Pupillengröße kombiniert wurden, um kurzfristige Veränderungen kognitiver Belastung erfassen zu können. Damit stellt sie einen neuen Ansatz im Umgang mit sonst nicht so einfach kombinierbaren Daten dar und wurde bei Huber-Huber et al. (2016) und in Folge auch in der vorliegenden Studie zur kombinierten Betrachtung von EEG- und Eyetrackerdaten angewendet. Abbildung 2 aus der Arbeit von Klingner (2010) soll die Vorgangsweise vereinfacht darstellen.

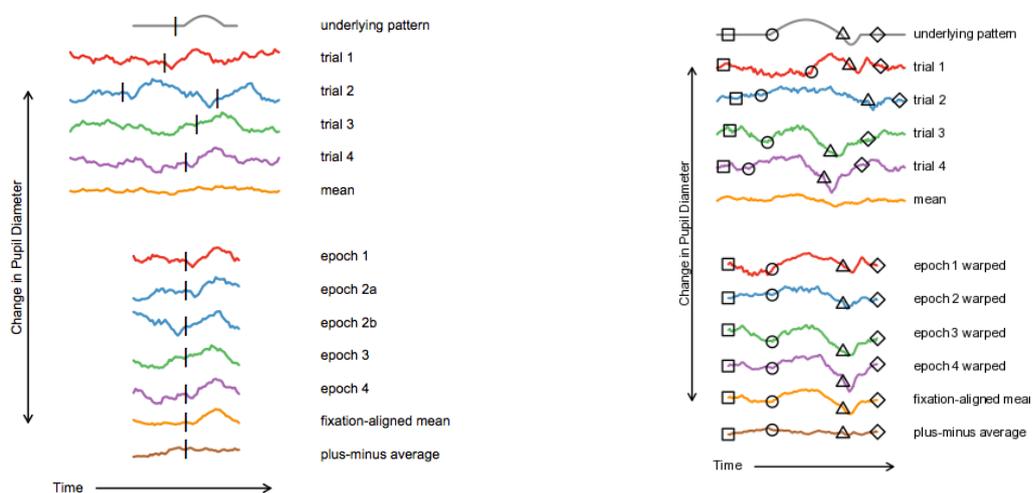


Abbildung 2. (li.) 4 simulierte Versuche mit Fixierungen, welche zu verschiedenen Zeiten auftreten – darunter die gleichen Epochen angepasst durch Translation. (re.) 4 simulierte Versuche mit je 4 Blickereignissen zu verschiedenen Zeiten – darunter Ergebnis der Ausrichtung jeder Epoche durch stückweises lineares Verzerren (für eine ausführliche Beschreibung dieser Methode siehe Klingner, 2010).

2. Fragestellung/ Hypothesen

- 1) Es wird angenommen, dass Verlagerung der Aufmerksamkeit abhängig von der Art der Aufgabenstellung ist. Der Prämotor-Theorie zufolge muss jede Augenbewegung vorbereitet werden, was jedoch nur mittels Doppelaufgabe bekräftigt werden konnte. Womöglich ist eine Aufmerksamkeitsverlagerung vor der Sakkade nur zu beobachten, wenn eine Doppelaufgabe die Diskrimination von DTs erfordert, wie dies bis jetzt zur Überprüfung herangezogen wurde bzw. wenn die gleiche Wahrscheinlichkeit der DT-Präsentation an allen möglichen Stellen des Displays die Selektion am bereits bekannten Sakkadenort zumindest als genauso wahrscheinlich erscheinen lässt, wie die Selektion jeder anderen Stelle. Angenommen wurde, dass die kontra- ipsilaterale Differenz unter Doppelaufgabenbedingungen stärker ausfallen würde, als unter Einzelaufgabenbedingung. Die kontra- ipsilaterale Differenz sollte dabei bei Doppelaufgaben negativer ausfallen (im Sinne einer N2pc). Laut den Ergebnissen der Vorstudie ist bei Abwesenheit einer zusätzlichen Aufgabe keine kontra- ipsilaterale Differenz zu erwarten.
- 2) Die Diskriminationsleistung ist wesentlich besser und die Sakkadenlatenz kürzer, wenn ST und DT an derselben Stelle präsentiert werden (räumlicher Kongruenzeffekt).
- 3) Die Diskriminationsleistung ist besser und die Sakkadenlatenz kürzer, wenn das DT auf gleicher Seite präsentiert wird als auf gegenüberliegender Seite (Prämotor-Theorie).
- 4) Die Sakkadenlatenz ist höher bei Doppelaufgaben verglichen mit Einzelaufgaben.

3. Methode

3.1. Versuchspersonen

3.1.1 Experiment 1 (mit Randomisierungsfehler)

Es wurden 21 (davon 7 männliche) Teilnehmer durch die Versuchsleiterin persönlich oder durch das online LABS-System (<http://labs-univie.sona-systems.com>), bei dem sich PsychologiestudentInnen der Universität Wien ab dem ersten Semester zu Studien eintragen können, rekrutiert. PsychologiestudentInnen hatten dabei die Möglichkeit, Credits für Versuchspersonenstunden für etwaige Lehrveranstaltungen zu sammeln. Es handelte sich somit vorwiegend, jedoch nicht nur, um PsychologiestudentInnen. Eine VP musste aufgrund technischer Probleme und dadurch unzureichender Datenqualität ausgeschlossen werden. Das Durchschnittsalter der übrigen 20 VPn lag bei 23,2 Jahren (Range: 19-30 Jahre; siehe Tabelle 1).

Alle VPn hatten normale oder korrigierte Sehfähigkeit und gute Farbsichtigkeit (getestet mittels Ishihara Farben-Test). Die Teilnehmer hatten im Vorfeld keine Kenntnisse über die zu überprüfenden Hypothesen und wiesen keine neurologischen oder psychiatrischen Erkrankungen auf bzw. standen unter keiner laufenden medikamentösen Behandlung (insbesondere Psychopharmaka betreffend).

Vor dem Beginn der Untersuchung musste eine Einverständniserklärung unterschrieben werden und den VPn wurde ein Code anhand aufsteigender Nummerierung zugewiesen.

N	Alter	Geschlecht	Händigkeit	dominantes Auge
20 (5 in jeder Farbbedingung)	MW: 23,20 Jahre	13 weiblich	3 linkshändig	5 linksäugig
	Range: 19-30	7 männlich	17 rechtshändig	15 rechtsäugig

Tabelle 1. Demographische Daten der VPn unter vorherigem Ausschluss einer VP.

3.1.2 Experiment 2 (ohne Randomisierungsfehler)

Es wurden weitere 16 Probanden getestet (5 männliche). Die Rekrutierung erfolgte auf gleiche Weise wie für Experiment 1 durch die Versuchsleiterin selbst und über das online LABS-System. Das Durchschnittsalter lag hier bei 21,9 Jahren (Range: 19-27; siehe Tabelle 2). Die Vorgangsweise vor Durchführung des Experiments war ident zu Experiment 1.

N	Alter	Geschlecht	Händigkeit	dominantes Auge
16 (4 in jeder Farbbedingung)	MW: 21,88 Jahre	11 weiblich	3 linkshändig	8 linksäugig
	Range: 19-27 Jahre	5 männlich	13 rechtshändig	8 rechtsäugig

Tabelle 2. Demographische Daten der VPn von Experiment 2.

3.2 Untersuchungsdesign

Die vorliegende Studie folgte einem 2 x 3 x 2 Design mit den Innersubjektfaktoren BLOCK (Block 1 = Einfachaufgabe vs. Block 2 = Doppelaufgabe vs. Block 3 = Einfachaufgabe), POSITION (same = gleiche Position von ST und DT vs. same side = gleiche Seite aber unterschiedliche Position von ST und DT vs. opposite side = ST und DT auf gegenüberliegenden Seiten präsentiert) und ELEKTRODE (= Lateralität, kontralateral vs. ipsilateral zum ST). Jede VP führte zuerst Durchgänge mit Einfachaufgaben, danach einen Block mit Doppelaufgaben und zuletzt wieder einen Block mit Einfachaufgaben durch, welche ident zu denen im ersten Block waren. Somit konnten Effekte, verursacht durch die Art der Aufgabenstellungen bzw. durch die Position von ST und DT, untersucht werden.

Aufgrund technischer Probleme, wobei die Randomisierung der einzelnen Durchgänge innerhalb der Blöcke nicht gegeben war und um bspw. dadurch entstandene Erwartungseffekte ausschließen zu können, wurde das Experiment nach Behebung dieses Fehlers ein zweites Mal durchgeführt. Da sich im zweiten Experiment der gleiche Effekt wie beim ersten abzeichnete – also keine signifikanten Unterschiede zwischen den Probanden festgestellt werden konnten – wurden die Daten im Anschluss mit dem zusätzlichen Zwischensubjektfaktor EXPERIMENT (Exp. 1 vs. Exp. 2) gemeinsam analysiert, um damit eine höhere VPn-Anzahl und damit eine größere Effektstärke bzw. Repräsentativität zu erzielen.

3.3 Stimuli

Das Fixationskreuz in der Mitte des Bildschirms bestand aus zwei grauen Balken mit einem Sehwinkel von $0.39^\circ \times 0.39^\circ$. Ein Durchgang umfasste vier Stimuli bestehend aus vier Kreisen, wobei deren Mittelpunkte 5.92° Sehwinkel entfernt von der Bildschirmmitte in den gedachten Eckpunkten eines Quadrats um die Mitte des Bildschirms präsentiert wurden (siehe Abbildung 3). Die Kreise hatten einen Durchmesser von 2.56° Sehwinkel. Darin eingeschrieben waren Maskierungs-Quadrate mit einer Seitenlänge von 1.78° . Die Stimuli hatten eine Breite von 0.15° Sehwinkel.

Die Balken der Kreuze, welche als DTs bzw. als Distraktoren dienten, waren 1.78° lang und 0.15° breit – vertikale und horizontale Linie des DTs hatten demnach dieselbe Länge wie die vertikalen und horizontalen Kanten der Maskierungsquadrate innerhalb der ST-Kreise. Präsentiert wurden die Stimuli auf hellgrauem Hintergrund (82.3/ 4/ -11.30). Die

Stimuli-Kreise wurden in vier verschiedenen Farben präsentiert, wobei die Luminanz abgestimmt wurde: rot (66.8 / 28.5 / 40.6), gelbgrün (66.3 / -38.7 / 61.6), grün (66.8 / -60.7 / 13.7) und blau (67.4 / 15.8 / -73.3). Das Grau des Fixationskreuzes als auch der Maskierungs-Quadrate und der Distraktor- bzw. Diskriminations-Kreuze lag bei 67.3 / 4.4 / -9.5. Die Luminanz-Anpassung wurde mit dem Farbmessgerät X-Rite i1 pro verifiziert. Die vier Farben wurden als konstante Zielreize unter den VPn ausbalanciert. Jeder der Kreise hatte eine der genannten Farben, also hatte nur ein Stimulus die Zielfarbe der jeweiligen VP. Die Position, an der dieser Zielreiz auftauchte, wurde in zufälliger Reihenfolge über alle Trials ausbalanciert. In Exp. 1 lag hier der Fehler der Programmierung, da die Randomisierung der Position des STs nicht gegeben war und sich in einem bestimmten Intervall wiederholte. Somit konnten möglicherweise Erwartungseffekte o.Ä. verursacht werden. Um dies zu überprüfen, wurde das gleiche Experiment nach Behebung dieses Programmierfehlers noch einmal durchgeführt.

Das DT konnte in jedem Kreis auftauchen, auch ausbalanciert über alle Durchgänge. Demnach gab es Durchgänge, in denen das DT an derselben Stelle präsentiert wurde wie das Sakkadenziel (= Kreis mit der Zielfarbe; „same“), Durchgänge, in denen das DT nicht im selben Kreis aber auf gleicher Seite wie das ST präsentiert wurde (= „same side“, ss) und solche, wo das DT auf gegenüberliegender Seite zum ST dargeboten wurde (= „opposite side“, os).

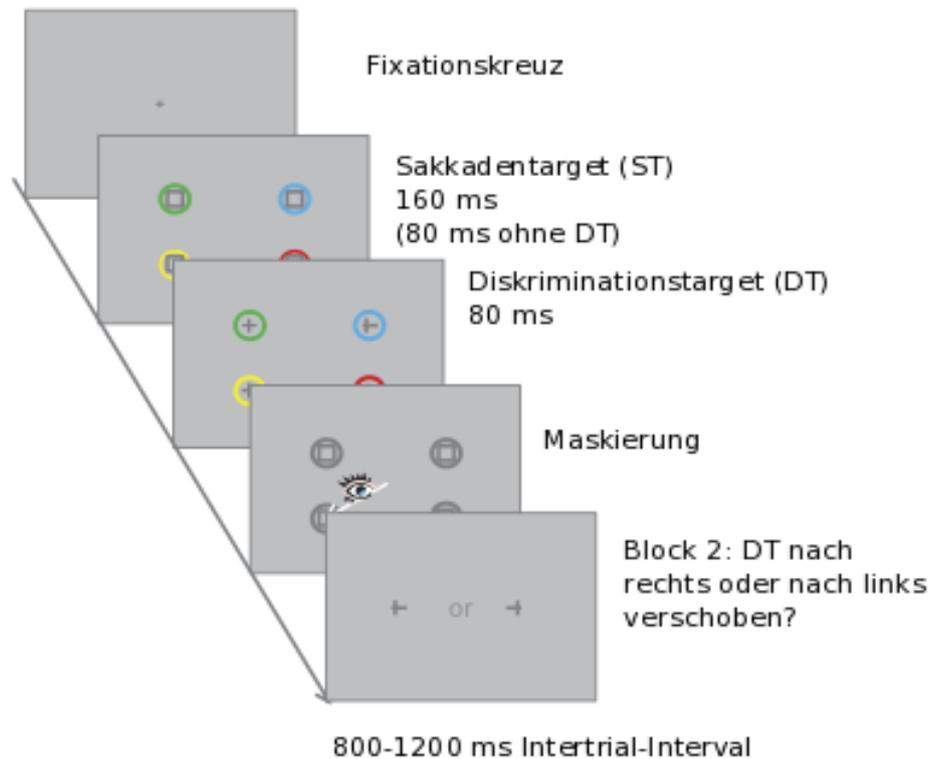


Abbildung 3. Versuchsdesign. Nach Fixation des Kreuzes in der Bildschirmmitte hatte die VP die Aufgabe, so schnell als möglich den Kreis in der ihr zugeteilten Farbe mit den Augen zu fixieren. Im Block mit Doppelaufgabe musste zusätzlich nach Fixierung des STs angegeben werden, in welche Richtung das asymmetrische Kreuz (= DT) verschoben war. Dabei geht es nicht um Schnelligkeit, sondern um Korrektheit der manuellen Antworten. Der Pfeil symbolisiert die Vorgangsrichtung (adaptiert von Born et al., 2012).

3.4 Ablauf

Nach Unterschreiben der Einverständniserklärung wurden die Elektroden an der passenden Elektrodenhaube angebracht (siehe 3.5) und die VPn in einen schallgedämpften Versuchsraum gebeten, wo sie vor einem Monitor Position einnahmen. Vor Beginn des Experiments wurden die Elektroden-Impedanzen und das EEG-Signal überprüft. Die VPn sollten das Kinn in die vorgesehene Kinnstütze legen und der Eyetracker wurde kalibriert. Während des Experiments wurde der Raum abgedunkelt und nur mit einer indirekten Lichtquelle beleuchtet.

Zu Beginn wurde den VPn eine Farbe randomisiert zugeteilt (rot, gelbgrün, grün oder blau), welche während des Experiments konstant als Farbe des Zielreizes bestehen blieb.

Jeder Trial begann mit einem Fixationskreuz in der Mitte des Bildschirms. Befanden sich für 750 ms mehr als 90% der durch den Eyetracker aufgezeichneten Datenpunkte innerhalb 2° Sehwinkel vom Mittelpunkt des Bildschirms, startete ein Durchgang mit dem „Cue-Display“, den vier symmetrisch in den Eckpunkten eines gedachten Quadrats angeordneten bunten Kreisen mit eingeschriebenen grauen Maskierungs-Quadraten. Die Kreise wurden für 160 ms präsentiert. Nach 80 ms wurden statt den Maskierungsquadraten graue Kreuze in der Mitte der bunten Kreise dargeboten – in diesen 80 ms waren also ST und DT gemeinsam zu sehen. (*Anmerkung:* Eine sehr ähnliche Versuchsanordnung findet sich bei Born et al., 2012 – einer der Unterschiede ist das gemeinsame Präsentieren von ST und DT, womit das Erkennen des STs etwas leichter fällt, die Sakkaden jedoch trotzdem in den meisten Fällen erst starteten, nachdem das DT verschwunden war). Drei der eingeschriebenen Kreuze waren perfekt symmetrisch (= Distraktoren), bei einem war die vertikale Achse um 10 Pixel zufällig nach rechts oder nach links verschoben (= DT). Danach erschienen Kreise als auch darin befindliche Maskierungs-Quadrate so lange in grau, bis der Zielreiz richtig mit den Augen fixiert wurde. Ein Target galt als richtig erkannt, wenn für 200 ms mehr als 90% der vom Eyetracker aufgezeichneten Datenpunkte innerhalb von 2° Sehwinkel vom Mittelpunkt des Zielreizes zu verzeichnen waren. Anschließend wurde in einem „Intertrial Interval“ 800-1200 ms (zufällig bestimmt und über die VPn gleichverteilt) nur das Fixationskreuz gezeigt, woraufhin der nächste Trial begann.

Das Experiment bestand aus insgesamt drei Blöcken mit unterschiedlichen Aufgabenstellungen. Die Instruktion im ersten Block, welcher sich aus 228 Durchgängen inklusive 20 Testdurchgängen zusammensetzte, lautete, so schnell wie möglich eine Augenbewegung auf den Zielreiz, also den Kreis mit der zu Beginn zugeteilten Farbe, hin auszuführen. Unter dieser Bedingung wurden nur Sakkaden-Antworten mittels Eyetracker gemessen.

Im zweiten Block wurde eine Doppelaufgabe mit einem zusätzlich zu bearbeitenden DT vorgegeben. Nachdem die Augenbewegung hin auf den Zielreiz ausgeführt war, sollte beurteilt werden, in welche Richtung der vertikale Schenkel des asymmetrischen Kreuzes (= DT) verschoben war. Die Antwort wurde mittels Tastendruck auf einer regulären Computertastatur gegeben. Vor Beginn dieses Abschnitts erschien die Instruktion am Bildschirm, welche Taste für welche Seite zu drücken war (C= nach links verschoben, N= nach rechts verschoben – VPn sollten dazu ihre beiden Zeigefinger auf die entsprechenden Tasten legen).

Der Grad der Verschiebung des Schenkels wurde dabei stufenweise mittels „staircase procedure“ anhand folgender Parameter für den QUEST Algorithmus (QuestCreate function; Watson & Pelli, 1983) von der Mitte des Kreuzes weg durchgeführt, wobei dies nach rechts oder links erfolgen konnte: Standardabweichung 3, Schrittweite 1, Minimum 2 Pixel, Maximum 20 Pixel (dies entspricht etwa 0.71° Sehwinkel), beta 0.5, delta 0.01, gamma 0.5. Für jeden Trial wurde die optimale Abweichung mithilfe der QuestQuantile Funktion bestimmt (Psychtoolbox Version 3.0.12). Bei der Methode der stufenweisen Anpassung geht es darum, den Anteil richtig gelöster Aufgaben mithilfe der kontinuierlichen Anpassung des Schwierigkeitsniveaus an das individuelle Leistungsniveau der VPn mittels „Quest procedure“ auf einen Schwellenwert von 0.90 korrekter Diskriminationen beizubehalten. Dabei verschob sich der Schenkel bei oftmalig falscher Beantwortung weiter nach außen, womit es leichter wurde, dieses Kreuz als DT zu erkennen und den Anteil richtiger Antworten damit zu steigern. Bei häufigen richtigen Antworten jedoch verschob sich der Balken weiter nach innen, um den Task schwieriger zu gestalten. Damit sollten Boden- (z.B. Zufallsniveau in allen Bedingungen) als auch Deckeneffekte (z.B. perfekte Diskriminationsleistung in allen Bedingungen) so gut als möglich unterbunden werden. Die Antwort auf das ST wurde wie in Block 1 mittels Eyetracker gemessen, welcher korrekte Fixationen erkannte. Wurde die Stelle des STs richtig fixiert, verschwand es, wie auch im ersten Block. Anschließend musste die VP die entsprechende Taste für das DT drücken, also in welche Richtung der Schenkel verschoben war. Dieser zweite Block umfasste 436 Durchgänge inklusive 20 Test-Trials und damit doppelt so viele wie Block 1. Die Testtrials wurden sowohl in Block 1 als auch Block 2 nicht zur Auswertung hinzugezogen.

Ein dritter Block verlief ident zum ersten. Wieder sollten in einer Einfachaufgabe Augenbewegungen so schnell wie möglich hin auf den Zielreiz erfolgen ohne zusätzlich zu bearbeitende Diskriminationsaufgabe. Dieser Task diente vorwiegend zur Überprüfung von Reihenfolgeeffekten bzw. Übungseffekten sowie zum direkten Vergleich, ob die Tatsache über das Wissen des Vorhandenseins eines DTs Einfluss auf die Bearbeitung der Aufgabe hätte. Zu diesem Block gab es insgesamt 208 Trials. Es gab dabei keine Test-Trials.

Bei allen drei Blöcken gab es nach je 20 Durchgängen eine kurze Pause. Diese diente neben der möglichen Erholungsphase für die VPn dazu, den Eyetracker nach Notwendigkeit neu zu kalibrieren. Im zweiten Block erhielten die VPn in den Pausen Feedback über den erreichten Prozentsatz richtig gelöster Aufgaben.

3.5 Messinstrumente

Das gesamte Experiment wurde in MatLab programmiert (The Math-Works Inc.) unter der Verwendung der Psychophysics Toolbox (Brainard, 1997; Pelli, 1997) mit der Eyelink Erweiterung (Cornelissen, Peters & Palmer, 2002).

Die Stimuli wurden auf einem 19-Zoll VGA Monitor mit einer Bildschirmauflösung von 1024 x 768 Pixeln und einer Bildwiederholfrequenz von 85 Hz präsentiert. VPn saßen 58 cm vom Monitor entfernt. Der Kopf wurde in einer Kinnstütze abgestützt, um zugunsten der Eyetracker-Kalibrierung und auch der muskelaktivitätssensitiven EEG-Anschlüsse den Blick möglichst ruhig halten zu können.

Blickbewegungen wurden von einem Eyelink 1000+ Eyetracker (SR Research, Ontario, Canada; desktop mount) mit einer Abtastrate von 1000 Hz aufgezeichnet. Die Betrachtung der Stimuli erfolgte binokular, jedoch wurde in der Regel nur das Signal des dominanten Auges vom Eyetracker verfolgt und aufgezeichnet. In Ausnahmefällen wurde das Signal des nicht-signifikanten Auges verwendet (siehe Tabellen 1 und 2), bspw. aufgrund von Brillenspiegelungs-Problemen bzw. aufgrund zu vieler EEG-Trigger.

Zur Untersuchung von Aufmerksamkeitsverlagerungen vor offensichtlichen Augenbewegungen wurden Daten mit einem full-band DC-EEG-System der Firma NEURO PRAX, Version 2.4.2 (neuroConn GmbH, Ilmenau, Germany) aufgezeichnet und die Eingangssignale mit 1000 Hz verstärkt. Dabei kamen 64 Aktivelektroden (Brain Products, ActiCAP System) zum Einsatz, welche nach dem 10/10 System in elastischen Kunststoffhauben (EASYCAP GmbH, Herrsching, Germany) angeordnet waren. Die Elektroden-Impedanzen wurden unter 5 k Ω (Kappenmann & Luck, 2010) gehalten.

3.6 EEG-Datenverarbeitung und Analyse

Die vordefinierte „Ground“-Elektrode (AFZ) diente als online Referenz. Offline wurde das Signal erneut anhand der Mittelung beider Mastoid-Positionen (hintern linken und rechten Ohr) referenziert. Die Daten wurden mit einem 1 Hz „high-pass finite impulse response filter“ (FIR) mit einer Obergrenzen-Frequenz von 0.5 Hz (-6dB) sowie mit einer Durchquerungsbandbreite von 1 Hz und einer Filterordnung von 330 bearbeitet. Zudem wurde ein 40 Hz „low-pass“ Filter („impulse response filter“; FIR) mit einer Obergrenzen-Frequenz von 45 Hz (-6dB) und einer Durchquerungsbandbreite von 10 Hz angewendet, auch hier mit Filterordnung 330. Außerdem wurde der Unterschied zwischen den beiden

Elektroden an den äußeren Augenwinkeln für die Erhebung des „Horizontal Elektrokulogramms“ (HEOG) verwendet.

Die Daten des Eyetrackers und vom EEG wurden offline synchronisiert. Die synchronisierten Daten wurden so epochiert, dass der Zeitraum 200 ms vor und 1 s nach Beginn des Stimulus weiter bearbeitet werden konnte. Diese Epochen wurden sodann auf individuelle Zeiten der Reaktion auf die Ereignisse verkürzt und Baseline-Korrekturen vorgenommen.

Ausgeschlossen wurden Durchgänge, wenn die Reaktionszeit weiter vom Median aller Reaktionszeiten derselben VP in derselben Versuchsbedingung entfernt war als drei Mal der Median der absoluten Abweichung aller Durchgänge für diese VP in dieser Versuchsbedingung (Leys, Ley, Klein, Bernard & Licata, 2013), d.h. wenn die erste Sakkade z.B. nicht an den Ort des Zielreizes hin durchführte wurde. Ausschlusskriterium war zudem, wenn die erste vom Eyetracker erfasste Augenbewegung nach Stimuluspräsentation keine Sakkade, sondern der Beginn einer weiteren Fixation darstellte oder gerade bei Stimulus-Beginn bzw. zwischen Stimulus-Beginn und Sakkaden-Beginn geblinzelt wurde. Signale des ERP-Durchschnitts, getrennt für jede Elektrode, wurden ausgeschlossen, wenn das Signal sehr schwach ausfiel (unter $0.5 \mu\text{V}$ Unterschied zwischen nachfolgenden Beispielen für eine Dauer von zumindest 500 ms), wenn es sehr hohe Signaländerungen gab (mehr als $50 \mu\text{V} / \text{ms}$) und wenn Werte mit $\pm 80 \mu\text{V}$ überschritten wurden. In bipolaren HEOG Kanälen führen Augenbewegungen zu Abweichungen von etwa $15 \mu\text{V}$ pro Grad der Sehachse (Lins, Picton, Berg & Scherg, 1993). Das Kriterium zum Identifizieren als Artefakt und damit zum Ausschluss trifft hier bei Sakkaden-Durchgängen, welche im vorliegenden Experiment mit $3\text{-}4^\circ$ Sehachse zu verzeichnen sind, also nicht zu. Die Daten wurden in MatLab mithilfe der EEG Toolbox verarbeitet (Delorme & Makeig, 2004), woraus die Erweiterungen ERPLAB (Lopez-Calderon & Luck, 2014) und EYE-EEG (Dimigen, Sommer, Hohlfeld, Jacobs & Kliegl, 2011) sowie individuell programmierte Skripts verwendet wurden (Ausschlusskriterien sowie Bearbeitungsvorgang wie in Huber-Huber et al., 2016).

Zur Berechnung der Unterschiede zwischen den Versuchsbedingungen wurden Messwiederholungs-Analysen der Varianz (mixed ANOVAs) berechnet. Bei Verletzung der Sphärizität im Mauchly-Test wurden die Freiheitsgrade mittels Greenhouse-Geisser und post hoc Tests Bonferroni korrigiert.

Bei der EEG-Analyse zeigte die Variable „Lateralität“ an, über welcher Hemisphäre (kontra- vs. ipsilateral) in Relation zum zuerst fixierten Zielort ein Signal gemessen wurde.

Gehandhabt wurde dies so, dass bei STs, welche auf der linken Bildschirmseite fixiert wurden, die EEG-Daten über die Hemisphären ausgetauscht wurden. So enthielten Elektroden über der linken Hemisphäre das Signal kontralateral zum fixierten ST, Elektroden über der rechten Hemisphäre enthielten das ipsilaterale Signal. Die gemittelten Amplituden der EKPs wurden getrennt für kontra- und ipsilaterale Bedingungen berechnet (siehe Huber-Huber et al., 2016).

3.7 Zeitliche Anpassung der EEG-Epochen mit ausgeführten Augenbewegungen

Bei der zeitlichen Anpassung jeder einzelnen EEG-Datenepoche, getrennt für jeden Kanal, wurden Subepochen (z.B. von Beginn des Stimulus bis Beginn der Sakkade) jedes Durchgangs zeitlich auf die durchschnittliche Länge dieser Subepoche ausgerichtet – gemittelt über alle Durchgänge, Bedingungen und VPn. Für jedes interessierende Ereignis wurde die Durchschnittszeit über alle Durchgänge für alle VPn und Bedingung berechnet. Die Zeiträume 200 ms vor Stimulus-Beginn (als Baseline), Maskierung und ST/DT Ende waren für alle VPn gleich lang bzw. zur gleichen Zeit und mussten deshalb nicht zeitlich angepasst werden. Individuell war der ST-Beginn und der Zeitraum von ST/DT Ende bis zum Ausführen der Sakkade (Sakkadenlatenz). Der Sakkadenbeginn wurde dabei als 0-Punkt bezeichnet. Diese Ereignisse wurden zeitlich aufeinander synchronisiert. Das Vorgehen wird in Abbildung 4 (aus Huber-Huber et al., 2016) veranschaulicht, wobei die linke Darstellung das ursprüngliche Signal einer Elektrode in verschiedenen Epochen zeigt, sowie die Mittelung. Rechts abgebildet ist die zeitlich angepasste Version jedes Abschnittes sowie der Durchschnitt dieser zeitlich angepassten Epochen.

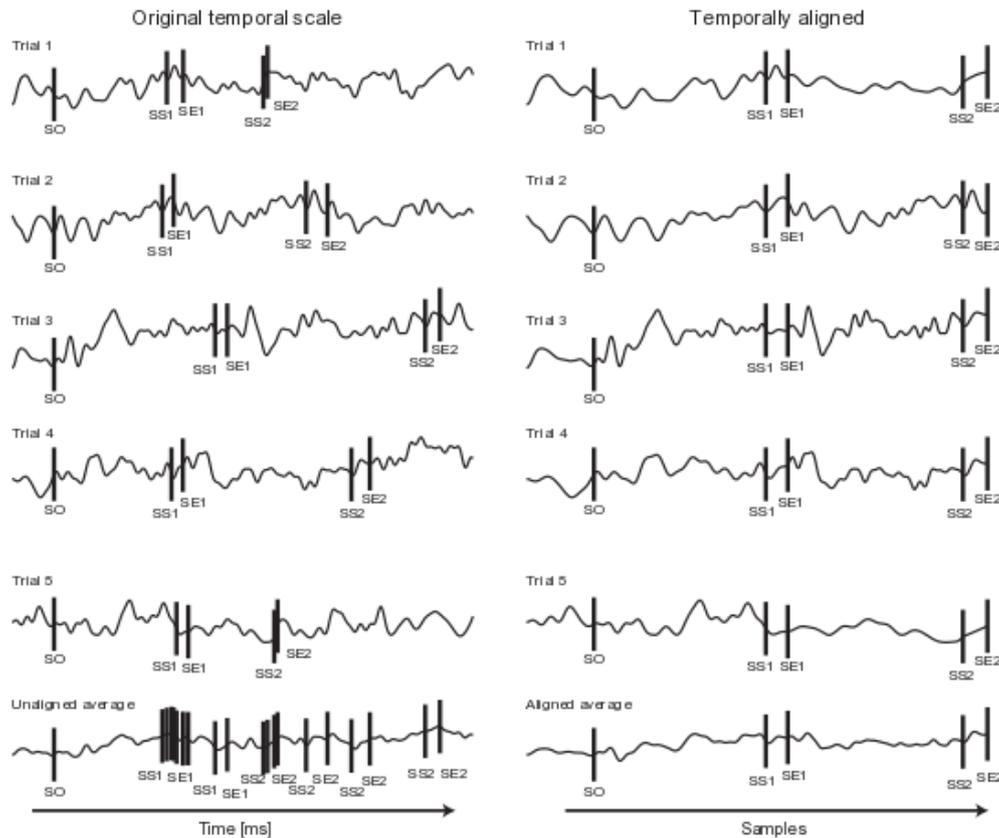


Abbildung 4. Vorgang der zeitlichen Anpassung bei Huber- Huber et al. (2016). (li.) Originaldaten einer Elektrode (PO7) einer VP zu verschiedenen Zeitpunkten. (re.) Zeitlich aufeinander synchronisierte Darstellung derselben Daten.

SO – Stimulusbeginn, S1 – Beginn Sakkade 1, SE1 – Ende Sakkade 1, SS2 – Beginn Sakkade 2, SE2 – Ende Sakkade 2.

Mithilfe der Toolbox zur Kurvenanpassung in MatLab (command fit, fitype smoothingspline) wurde für jeden EEG Kanal einzeln eine fortlaufende Kurve zu jeder Epoche angepasst. Jede Kurve hatte eine bestimmte Anzahl an Datenpunkten. Der Durchschnitt dieser Datenpunkte wurde in den Rohdaten zwischen den anzupassenden Ereignissen berechnet und einzelne Werte bzw. Datenpunkte in jedem Trial entfernt oder hinzugefügt, um die gleiche Anzahl an Datenpunkten in diesem Zeitraum zu erhalten (siehe Klingner, 2010).

Statistisch wurden Differenzen (kontra minus ipsilaterale Kurve) der EKP-Kurvenformationen zwischen den verschiedenen Bedingungen untersucht. Dabei wurden die gemittelten Amplituden der zeitlich angepassten EKPs besonders vor, aber auch nach Sakkadenbeginn beobachtet. Da die EKP-Komponente N2pc, welche u.a. durch verdeckte

Aufmerksamkeitsverlagerung ausgelöst wird, erwartet wurde, lag der Fokus auf der Analyse der zwei Elektroden, an denen diese Komponente ihre höchste Ausprägung hat (Eimer, 1996; Luck & Hillyard, 1994): an den posterior gelegenen Elektroden PO7 (links) und PO8 (rechts).

4. Ergebnisse

4.1 Diskriminationsleistung in validen vs. invaliden Versuchsbedingungen

Für die Berechnung wurden die Daten aller VPn, sowohl aus Experiment 1 als auch aus Experiment 2, herangezogen. Die Ergebnisse beziehen sich auf Block 2, wobei VPn zusätzlich zur Sakkadenantwort eine Diskriminationsaufgabe bearbeiten mussten.

Erwartungsgemäß war die Diskriminationsleistung wesentlich besser, wenn das DT an derselben Stelle wie das ST präsentiert wurde – also in valider Bedingung – als an irgendeiner anderen Position (d.h. in invalider Bedingung; siehe Abbildung 5a). Dabei betrug der Anteil richtig gelöster Aufgaben in valider Bedingung 84,1%, in invalider Bedingung hingegen 67,7%. In einem t-Test wurde das Ausmaß der Differenz zwischen diesen Bedingungen berechnet: $t(35) = 9.36, p = 4.59^{-11}$.

Zusätzlich wurde der Bayes-Faktor (BF) berechnet. Dieser gibt Auskunft darüber, wie gut eine Hypothese die empirischen Daten im Vergleich zu einer konkurrierenden Hypothese vorhersagen kann. Die Zahl des BFs gibt an, um welchen Faktor wahrscheinlicher ein Modell gegenüber einem anderen Modell ist. Die Evidenzstärke wird hier wie folgt ausgelegt (Raftery, 1995): 1-3 = schwach, 3-20 = eindeutig, 20-150 = stark, >150 = sehr stark.

Die Berechnung des Bayesianischen t-Tests ergab hier für die Alternativhypothese in Relation zur Nullhypothese: $BF > 150$. Dieses Ergebnis untermauert die Wahrscheinlichkeit, dass die Alternativhypothese, also ein bestehender signifikanter Unterschied der Diskriminationsleistung zwischen valider und invalider Positionsbedingung, angenommen werden kann.

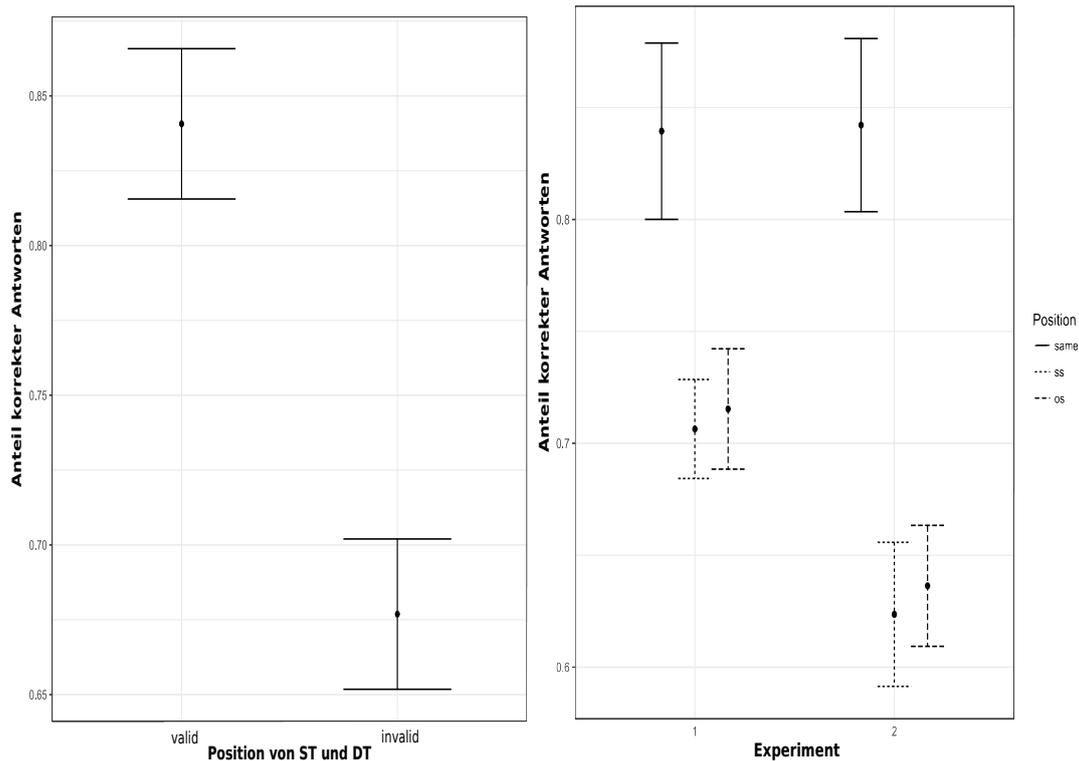


Abbildung 5a. Diskriminationsleistung same vs. ss / os (valide vs. invalide Positionsbedingung von ST und DT).

Abbildung 5b. Diskriminationsleistung same vs. ss vs. os getrennt für Experiment 1 und Experiment 2.

Zur genaueren Untersuchung wurde der Unterschied der Diskriminationsleistung zwischen den Positionen „same“ (DT und ST an derselben Stelle) vs. „same side“ (ss; DT und ST auf gleicher Seite aber unterschiedlicher Position) vs. „opposite side“ (os; DT und ST auf gegenüberliegenden Seiten) berechnet. Diese Berechnung erfolgte getrennt für die beiden Experimente, da Unterschiede zwischen den VPn beobachtet werden konnten (siehe Abbildung 5b). Die Ergebnisse der Anteile der richtig gelösten Aufgaben werden in der Form „Experiment 1 / Experiment 2“ dargestellt. In der validen Bedingung konnten keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Experimenten festgestellt werden, same: 83.9% / 84.2%. In beiden invaliden Bedingungen jedoch war ein deutlicher Unterschied zu beobachten, ss: 70.6% / 62.4%; os: 71.5% / 63.6%. In Experiment 1 erreichten VPn in invaliden Bedingungen etwas bessere Diskriminationsleistungen. Dies könnte u.U. darauf zurück zu führen sein, dass durch bestimmte Intervalle der Position des DTs durch fehlende Randomisierung in Experiment 1 Erwartungseffekte aufgetreten sind, welche zu einer besseren Unterscheidungsfähigkeit des DTs geführt haben könnte.

Eine 2-faktorielle ANOVA ergab einen signifikanten Haupteffekt der Position: $F(2, 68) = 85.43, p = 2.77^{-15}$ sowie eine signifikante Interaktion Experiment x Position: $F(2, 68) = 5.14, p = .02$. Anhand paarweiser t-Tests wurde berechnet, worin diese Unterschiede bestanden. Hierbei sollte untersucht werden, ob der Positionseffekt in beiden Experimenten auftritt bzw. ob die Diskriminierungsgenauigkeit für beide Experimente in den verschiedenen Positionsfaktoren gleich war. Für die Unterscheidung der Positionseffekte zwischen den Experimenten ist die Darstellung der Daten „Experiment 1 / Experiment 2“, same vs. ss: $t(19) = 5.89, p < .01$ / $t(15) = 8.67, p < .01$; same vs. os: $t(19) = 4.99, p < .01$ / $t(15) = 9.19, p < .01$; ss vs. os: $t(19) = -0.78, p = 4.02$ / $t(15) = -0.74, p = 4.25$. Die Effekte sind demnach in beiden Experimenten gleich – es bestehen signifikante Unterschiede zwischen valider (same) vs. invalider Bedingung (ss, os) nicht aber zwischen den invaliden Bedingungen (ss vs. os). In Abbildung 5b scheint es, als gebe es einen ersichtlichen Unterschied zwischen Experiment 1 und Experiment 2 in den inkongruenten Bedingungen. Dieser Unterschied ist jedoch – v.a. nach Korrektur nach Bonferroni – statistisch nicht signifikant, was in einem Welch’s t-Tests für die beiden Experimente in den 3 Positionsbedingungen gezeigt werden konnte, same: $t(30.09) = -0.06, p = 8.60$; ss: $t(33.39) = 2.27, p = 0.27$; os: $t(33.68) = 2.01, p = 0.47$.

Zusammenfassend ist hierzu festzuhalten, dass der für die wesentliche Fragestellung dieser Arbeit wichtige Effekt der Aufgabenstellung (= Unterschied zwischen valider und invaliden Versuchsbedingungen) in beiden Experimenten signifikant ausfiel. Somit kann die Hypothese, dass die Diskriminationsleistung besser ausfällt, wenn DT und ST an derselben Stelle präsentiert werden, angenommen werden.

Betrachtet man den BF für die verschiedenen möglichen Modelle, kann ein Positionseffekt deutlich bekräftigt werden: mit einem $BF = 5.09^{14}$ ist es um diesen Faktor wahrscheinlicher, dass ein Modell mit (entgegen einem Modell ohne) Positionseffekt zutrifft. Aber auch der Faktor Experiment spielt eine Rolle ($BF = 4.19^{14}$) sowie ein Modell, welches eine Interaktion zwischen Position x Experiment aufweist ($BF = 2.12^{15}$) in Bezug auf ein Modell, welches weder den Haupteffekt Position noch Experiment einbezieht. Zudem ist ein Modell mit Interaktion Position x Experiment mit $BF = 4.16$ wahrscheinlicher, als eine Modell mit nur einem Haupteffekt von Position. Beim paarweisen Vergleich von same vs. ss ist das Modell mit den Haupteffekten Position, Experiment und der Interaktion zwischen diesen am wahrscheinlichsten ($BF > 150$). Zwischen den invaliden Bedingungen ss

vs. os ist das wahrscheinlichste Modell, wenn auch mit schwacher Ausprägung mit $BF = 2.01$ mit dem Haupteffekt Experiment ohne Interaktion.

4.2 Reaktionszeiten für valide und invalide Versuchsbedingungen

Hierbei ist anzumerken, dass es bei der Aufgabe nicht wichtig war, schnell zu antworten, sondern richtig. Trotzdem wollen wir manuelle Reaktionszeiten in Doppelaufgaben-Bedingung analysieren, also den Zeitunterschied zwischen ST-Beginn und manueller Reaktion auf das DT. Der Zeitunterschied zwischen ST- und DT- Beginn war konstant. Da in diesem Experiment nicht die Schnelligkeit wesentlich war, wurden die Reaktionszeit-Daten mit einer Unsicherheit von 5 ms nicht sehr zeitkritisch festgehalten (unter Verwendung der `KbWait`-Funktion der Psychophysics Toolbox). Zur Analyse wurden ausschließlich korrekte Antworten herangezogen. Diese Berechnung wurde u.a. durchgeführt, um auszuschließen, dass es sich hierbei um einen „Speed-Accuracy-Trade-Off“ handeln könnte. Diesem Effekt nach steigt die Genauigkeit bei sehr vielen Aufgaben bei geringerer bzw. sinkt bei höherer Geschwindigkeit. Diese Arbeit folgt jedoch der Theorie, dass ein Vorteil der Diskrimination von DTs in validen im Vergleich zu nicht validen Bedingungen in Geschwindigkeit und Genauigkeit erkennbar sein sollte.

Mittels 2-faktorieller ANOVA wurden die Unterschiede der Reaktionszeiten für die verschiedenen Positionen (same, ss, os) und beide Experimente berechnet (siehe Abbildung 6). Es konnte ein Haupteffekt von Position $F(2, 68) = 8.12, p < .01$, jedoch nach Greenhouse-Geisser Korrektur aufgrund nicht erfüllter Sphärizität keine Interaktion von Experiment x Position berechnet werden $F(2, 68) = 1.14, p = .32$.

Zur näheren Betrachtung des Positionseffekts wurden paarweise t-Tests durchgeführt und Bonferroni korrigiert. Hierfür wurden die Daten der VPn aus beiden Experimenten herangezogen, da es kein statistisches Anzeichen auf signifikante Unterscheidung zwischen den Experimenten gab. Die Berechnung ergab in valider vs. invalider Positionen: same vs. ss: $t(35) = -2.97, p = .02$; same vs. os: $t(35) = -4.04, p < .01$, sowie zwischen den invaliden Bedingungen: ss vs. os: $t(35) = .41, p = 1.00$. Den Erwartungen entsprechend (auch wenn Schnelligkeit keine Vorgabe des Experiments darstellte) war die manuelle Reaktionszeit am schnellsten in validen Bedingungen, also wenn ST und DT an derselben Position präsentiert wurden (Exp. 1: 1283 ms / Exp. 2: 1337 ms). Signifikant langsamer wurde in invaliden Bedingungen reagiert (ss – Exp. 1: 1283 ms / Exp.2: 1530 ms; os – Exp. 1: 1417 ms / Exp. 2: 1453 ms). Somit konnte ein Speed-Accuracy-Trade-Off ausgeschlossen werden. Aus der

grafischen Darstellung ist ersichtlich, dass VPn in Exp. 2 in allen Bedingungen etwas langsamer reagierten, was möglicherweise auch hier in einer Art Erwartungseffekt durch die fehlende Randomisierung in Exp. 1 begründet sein könnte.

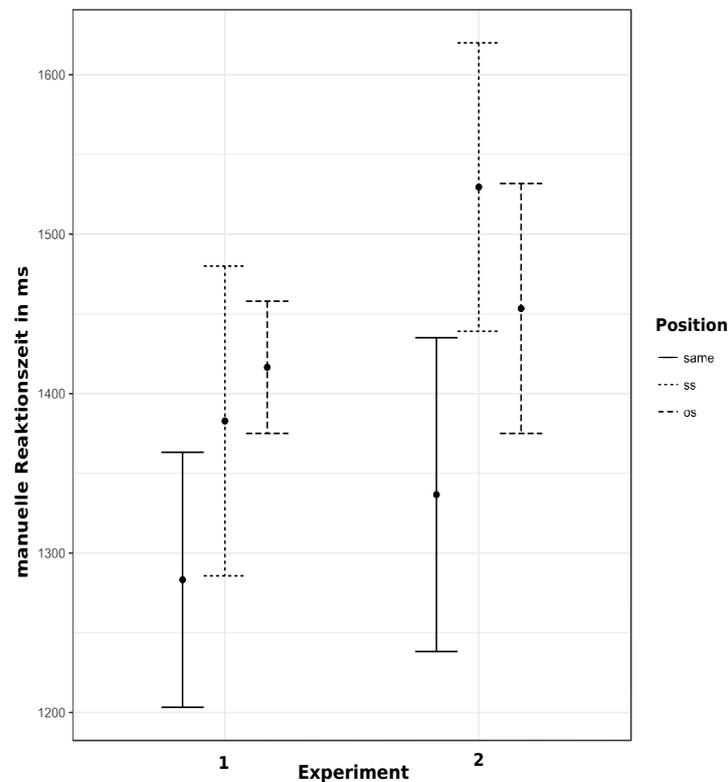


Abbildung 6. Reaktionszeiten gemessen von Beginn des STs bis zur manuellen Antwort mittels Tastendruck im Vergleich zwischen den Positionen (same, ss, os) für beide Experimente.

Der BF bekräftigt die Ergebnisse, indem er ein Modell als etwas wahrscheinlicher angibt, in dem ein Haupteffekt der Position vorliegt und der Faktor Experiment keine Rolle spielt (BF= 1.73). Im Vergleich zu einem Modell mit Haupteffekten Position und Experiment sowie Interaktion zwischen diesen Faktoren erscheint ein Modell nur mit Haupteffekt Position 5 mal wahrscheinlicher (BF= 5.52), mit Faktoren Position und Experiment 3 mal so wahrscheinlich (BF= 3.19). Eine mögliche Interaktion ist demnach deutlich auszuschließen.

4.3 Sakkaden-Latenzen (same vs. ss vs. os)

Es wurden nur Durchgänge weiterverarbeitet, bei denen die erste Sakkade pro Durchgang innerhalb von 2° Sehwinkel um den Mittelpunkt des STs verzeichnet werden

konnte. Zudem wurde ein Filter von ± 3 Standardabweichungen (SD) verwendet betreffend der gemittelten Sakkadenlatenz (d.h. Zeit vom Auftauchen des STs bis zum Beginn der Sakkade) pro VP und Versuchsbedingung. Abbildung 7 zeigt die mittlere Sakkadenlatenz für die drei Positionsbedingungen getrennt für die beiden Experimente. Die Latenzen, gemessen in ms, waren für Experiment 1 / Experiment 2 (gemittelt über die Positionen): Block 1: 256 ms / 260 ms; Block 2: 273 ms / 273 ms; Block 3: 231 ms / 247 ms.

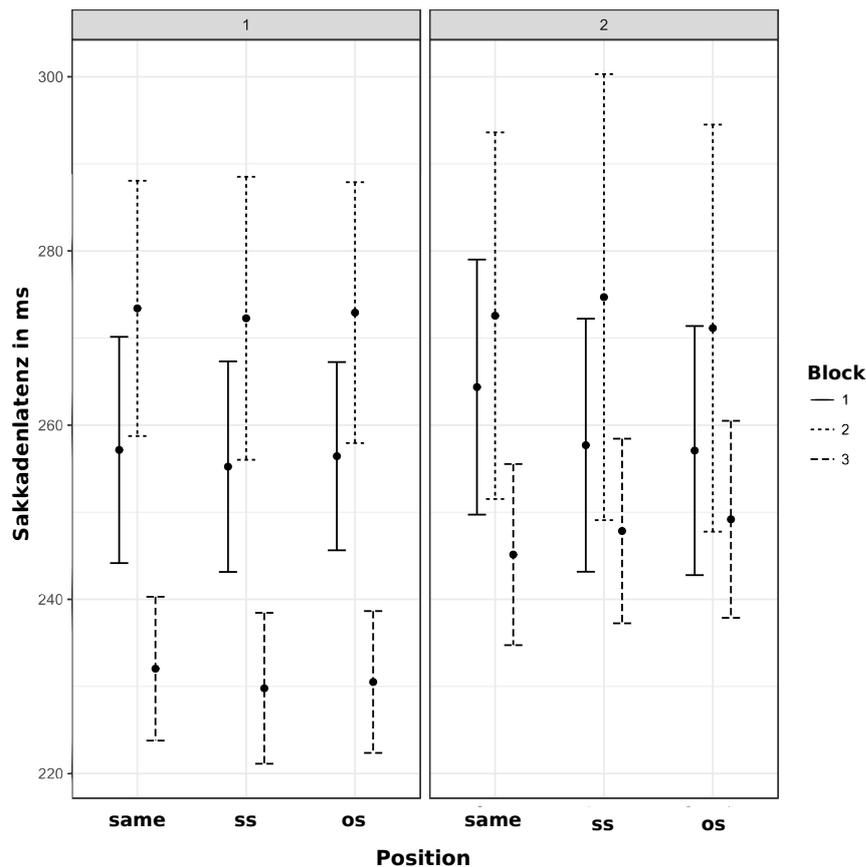


Abbildung 7. Sakkadenlatenzen = Reaktionszeit von Präsentation des STs bis Einsetzen der Sakkade zu diesem ST, gemessen in ms. Unterschied zwischen den Blöcken (Block 1 + 3: Einfachaufgaben, Block 2: Doppelaufgaben) bzw. zwischen den Positionen (same, ss, os) in den beiden Experimenten.

Angenommen wurde, dass Sakkadenlatenzen kürzer ausfallen würden, also dass VPn am schnellsten reagieren würden, wenn ST und DT an derselben Stelle präsentiert wurden (siehe oben: räumlicher Kongruenzeffekt) sowie schneller reagieren, wenn das DT auf der gleichen Seite wie das ST präsentiert wird verglichen mit auf gegenüberliegender Seite

präsentierten Reize (siehe oben: Prämotor-Theorie). Dies sollte in Block 2, in dem die Doppelaufgabe zu bearbeiten war, bemerkbar sein. In Block 1 und 3 sollte diese Differenzierung keine Rolle spielen, da das DT hierbei nicht zu beachten war – und in Block 1 auch noch keine Auskunft über das Vorhandensein eines DTs gegeben wurde. Außerdem wurde angenommen, dass Latenzen in Doppelaufgabenbedingung generell höher sein würden im Vergleich zur Einfachaufgabenbedingung.

Eine drei-faktorielle ANOVA mit dem 2-stufigen Zwischensubjektfaktor Experiment, dem 3-stufigen Innersubjektfaktor der Aufgabenstellung (Block 1= Einfachaufgabe, Block 2= Doppelaufgabe, Block 3= Einfachaufgabe, ident zu Block 1) und dem 3-stufigen Innersubjektfaktor der Position des DTs (same, ss, os) errechnete einen signifikanten Haupteffekt von Block: $F(2, 68) = 9.83, p < .01$, jedoch weder einen signifikanten Haupteffekt des Experiments: $F(1, 34) = 0.56, p = .46$, noch der Position: $F(2, 68) = 0.93, p = .40$. Keine der Interaktionen fiel signifikant aus, Experiment x Block: $F(2, 68) = 0.66, p = .45$; Experiment x Position: $F(2, 68) = 0.40, p = .67$; Block x Position: $F(4, 136) = 1.08, p = .36$; Experiment x Block x Position: $F(4, 136) = 1.18, p = .32$.

Anhand paarweiser t-Tests wurde untersucht, worin der Unterschied zwischen den Blöcken bestand. Dabei konnte ein signifikantes Ergebnis zwischen Block 1 und 3, $t(35) = 5.42, p < .01$, sowie zwischen Block 2 und 3 festgestellt werden, $t(35) = 4.15, p < .01$, nicht aber zwischen Block 1 und 2, $t(35) = -1.60, p = .35$.

Diesen Ergebnissen zufolge unterschieden sich Sakkadenlatenzen in Block 1 und 2 nicht signifikant, wobei die Reaktionen in Block 1 in beiden Experimenten im Durchschnitt etwas schneller erfolgten als in Block 2, während sie in Block 3 ersichtlich schneller waren als in den beiden anderen Bedingungen (siehe Abbildung 7). Dieses Ergebnis ist in einem Aspekt annähernd hypothesenkonform, als dass davon ausgegangen wurde, dass eine zweite zu bearbeitende Aufgabe die Sakkadenlatenzen verlängern würde. Dieser Unterschied zur Einfachaufgabe in Block 1 ist jedoch statistisch nicht signifikant. Was nicht erwartet wurde, ist, dass die Latenzen in Block 3 wesentlich schneller ausfallen würden als in den beiden anderen Bedingungen und sich damit auch wesentlich von der eigentlich identen Einfachaufgabe in Block 1 unterschied. Auch die Erwartung des Einflusses der Position des DTs in der Doppelaufgabenbedingung konnte nicht bestätigt werden. Zwischen den Experimenten ist zu beobachten, dass VPn in Experiment 1 v.a. in Block 3 auffallend schneller reagierten als VPn in Experiment 2.

Die Berechnung der Bayesianischen Faktorenanalyse bekräftigte die Ergebnisse der ANOVA. Ein Modell mit Haupteffekt Block erscheint wahrscheinlicher ($BF= 2.59$), als ein Modell mit zusätzlichem Haupteffekt Experiment als auch wahrscheinlicher als ein Modell mit Haupteffekten Block und Experiment und Interaktion zwischen diesen ($BF= 4.27$). Paarweise Vergleiche zeigen die Wirkung des Faktors Block bei der Betrachtung von Block 1 und 2. Zwischen Block 1 und 3 zeigen sich Hinweise auf die Abwesenheit eines Positionseffektes, während Haupteffekte von Experiment und Block sowie deren Interaktion deutlich vorhanden erscheinen ($BF= 13.99$, d.h. letzteres Modell ist um diesen Faktor wahrscheinlicher). Die Ergebnisse der ANOVA werden hier in der Berechnung eines Blockeffektes bestärkt.

4.4 Zeitlich angepasste EKPs

Wie auch bei der Berechnung der Sakkadenlatenzen, wurde ein Filter von ± 3 SDs angewandt. Wie schon oben beschrieben, wurden verschiedene Zeitpunkte, nämlich Auftauchen des STs, Beginn und Ende der Sakkade über alle VPn und Durchgänge zeitlich synchronisiert. Die sich daraus ergebenden EEG-Kurven der jeweils kontralateralen Elektrode bezogen auf das ST (hier als PO7c) bzw. der Elektrode ipsilateral zum ST (hier PO8i) sind, getrennt für die 3 Blöcke, in Abbildung 8a-c dargestellt. Zudem werden die jeweiligen Kurven der kontra- ipsilateralen Differenzen (d.h. das Ergebnis der ipsilateralen minus der kontralateralen Signale) für alle drei Blöcke gezeigt.

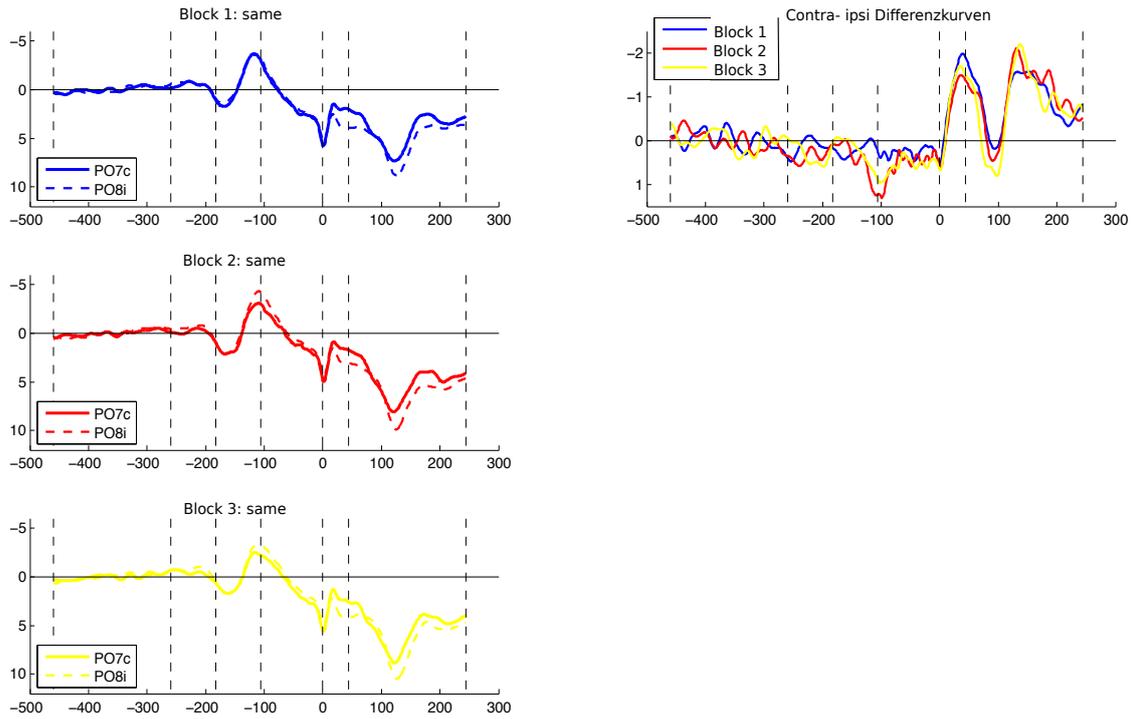


Abbildung 8a. Valide Bedingung. (li.) EKP-Kurven gemittelt über alle VPn und Trials, zeitlich synchronisiert auf ST-Beginn, Sakkadenbeginn und Sakkadenende, getrennt für die drei Blöcke (1 + 3 = Einfachaufgabe, 2 = Doppelaufgabe). (re.) Differenzkurven aus kontra- minus ipsilateraler EKP-Kurve. Negativität ist nach oben geplottet.

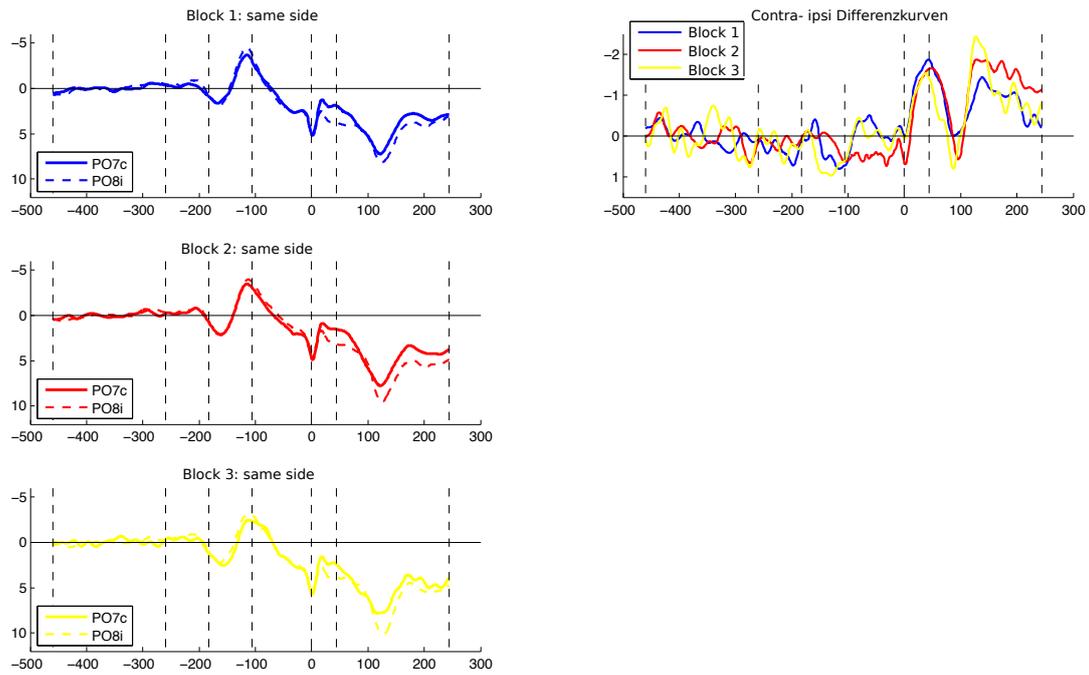


Abbildung 8b. Invalide Bedingung – gleiche Seite, unterschiedliche Position von ST und DT.

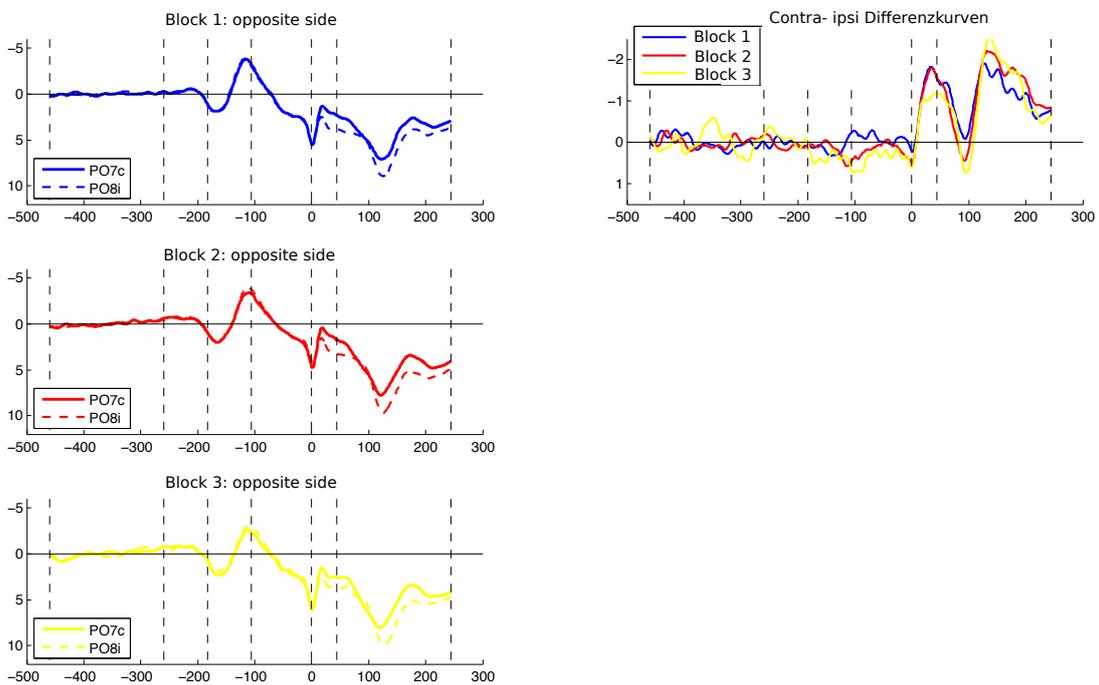


Abbildung 8c. Invalide Bedingung – gegenüberliegende Seiten von ST und DT.

4.4.1 Effekte der Aufgabenstellung zwischen Einfach- und Doppelaufgaben

Die Untersuchung, ob es einen Effekt der Aufgabenstellung, also einen signifikanten Unterschied zwischen der Bearbeitung von Einfach- und Doppelaufgaben gab, sollte mittels EKP-Diagramm dargestellt werden. Die p-Werte wurden dabei FDR korrigiert. FDR ist die Abkürzung für „False Discovery Rate“ (falsche Erkennungsrate; Benjamini & Hochberg, 1995), welche in diesem Fall benutzt wurde, da die Anwendung einer Bonferroni-Korrektur hier zu konservativ gewesen wäre und FDR mehr Power vorweist. Die Bonferroni-Korrektur misst die Wahrscheinlichkeit, dass zumindest eine falsche Zurückweisung der Nullhypothese vorliegt (Typ I- Fehler) und eignet sich für Tests, welche unabhängig voneinander sind. Dies war hier bei Berechnung der EKPs nicht der Fall. FDR steuert hingegen den Anteil fälschlicherweise zurückgewiesener Nullhypothesen nur bezogen auf zurückgewiesene Nullhypothesen insgesamt, nicht auf alle. FDR korrigiert bei multiplen Vergleichen über den Faktor Zeit hinweg. Mit dem Diagramm soll dargestellt werden, zu welchen Zeitpunkten die FDR korrigierten p-Werte signifikant oder nicht signifikant waren (siehe Abbildung 9). Dabei zeigt jede Zeile die p-Werte der einzelnen Effekte der Messwiederholungs-ANOVA. Anschließende post hoc Tests zeigten, auch in Diagrammform, wo genau die beobachteten Signifikanzen zu finden waren.

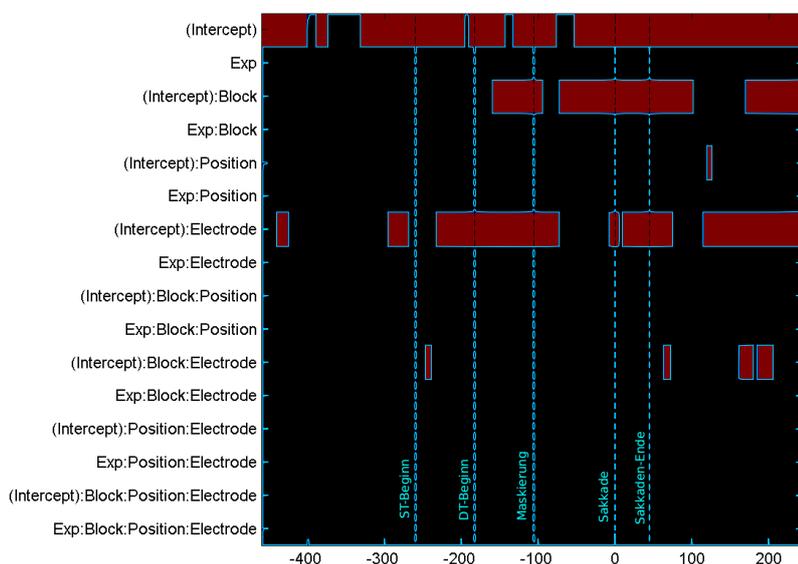


Abbildung 9. Mit vertikalen gestrichelten Linien wurden die Ereignisse in folgender Reihenfolge markiert: ST-Präsentation, DT-Präsentation, Maskierung, Sakkaden-Beginn (0-Punkt), Sakkaden-Ende. Signifikante Effekte werden in Rot dargestellt, berechnet über die Daten der VPn aus Experiment 1 + Experiment 2. Zwischen den

Effekten der beiden Experimente gab es keine signifikanten p-Werte – alle Effekte unter „Exp“ (=Berechnung des Unterschieds zwischen den Experimenten) werden schwarz dargestellt und gelten damit als nicht signifikant.

Signifikanzen werden rot dargestellt. Mit „Exp“ gekennzeichnete Zeilen zeigen, ob es einen Unterschied der Effekte bei Teilnehmern aus Experiment 2 im Vergleich zu Experiment 1 gab. Hier sind keine Signifikanzen ersichtlich, weshalb die Effekte auch über alle Daten gemeinsam analysiert werden durften. Angaben mit „(Intercept)“ entsprechen dem Mittel der Daten aller VPn aus Experiment 1 und Experiment 2.

Mithilfe des Diagramms konnte ein Haupteffekt von „Block“ und von „Elektrode“ (siehe Abbildung 12) als auch eine Interaktion „Block x Elektrode“ festgestellt werden. Entgegen unserer Erwartungen konnte jedoch kein Effekt für „Position“ im interessierenden Zeitraum vor Sakkadenbeginn gefunden werden. Es wurden post hoc Tests durchgeführt, um die Effekte näher zu untersuchen. Dazu wurde zuerst überprüft, in welchen Zeitfenstern diese Effekte in der ANOVA auftraten. Es zeigten sich in den post hoc Tests auch Signifikanzen in anderen Zeitfenstern, als im Diagramm zur ANOVA. Dies sollte jedoch hier außer Acht gelassen werden, da zuerst ANOVA-Effekte als signifikant berechnet werden müssen, um im anschließenden post hoc Test relevant zu sein.

Das Diagramm zum Haupteffekt „Block“ (siehe Abbildung 10) soll veranschaulichen, zwischen welchen Blöcken die paarweisen Vergleiche signifikant ausfielen. Zuerst wurden t-Tests Bonferroni korrigiert, anschließend die p-Werte für multiple paarweise Vergleiche mittels FDR über die Zeit korrigiert.

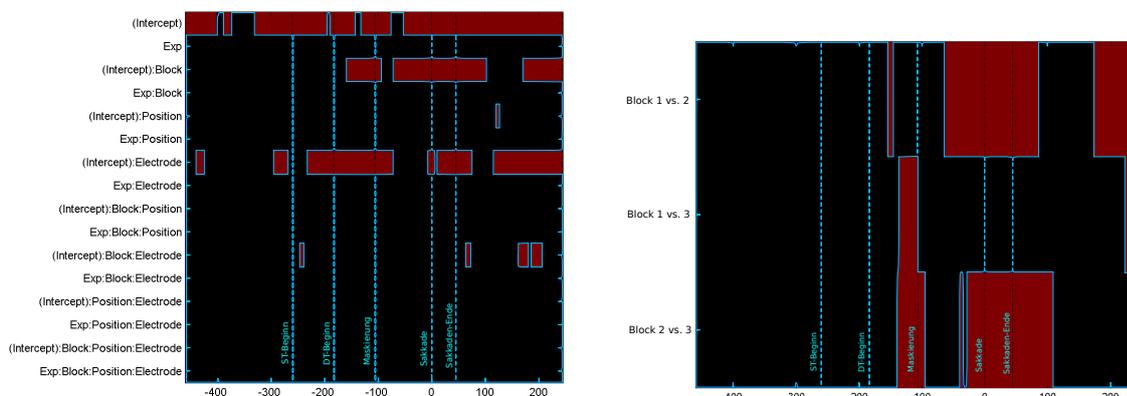


Abbildung 10. (re.) Post hoc Test-Diagramm zu paarweisen Vergleichen zwischen den Blöcken (Block 1 + 3 = Einfachaufgabe, Block 2 = Doppelaufgabe). (li.) Signifikanzen der ANOVA zum Vergleich der Zeitfenster.

Es konnten mittels ANOVA sowohl prä-sakkadische als auch sakkadische EKPs beobachtet werden. Im Zeitfenster vor Sakkadenbeginn gab es wie erwartet signifikante Unterschiede zwischen Block 1 und Block 2 – also zwischen Einfach- und Doppelaufgabe (ca. -150 ms bis -145 ms vor Sakkadenbeginn; ca. -60 ms bis + 100 ms um Sakkadenbeginn), sowie zwischen Block 2 und Block 3 (ca. -120 bis -95 ms vor Sakkade; ca. -30 ms bis +105 ms um Sakkade). Jedoch entgegen unserer Erwartungen war auch ein signifikanter Unterschied zwischen Block 1 und Block 3 zu beobachten (ca. -130 ms bis -100 ms vor Sakkade). Angenommen wurde, dass aufgrund der identen Aufgabenstellung in diesen beiden Blöcken 1 + 3 keine signifikanten Unterschiede zu finden wären. Somit wurden diese Blöcke nicht, wie ursprünglich gedacht, zu einem „Task“-Block (Einfachaufgabe) zusammengefasst, sondern einzeln betrachtet.

Sakkadische Signifikanzen, also auffällige Werte ab Sakkadenbeginn, wurden zwischen Block 1 und 2, als auch zwischen Block 2 und 3 ab Sakkadenbeginn bis etwa 100 ms später beobachtet. Zwischen Block 1 und 2 gab es zudem signifikante Unterschiede ab etwa +190 ms, zwischen Block 1 und 3 etwas zeitversetzt ab etwa +210 ms nach Sakkadenbeginn.

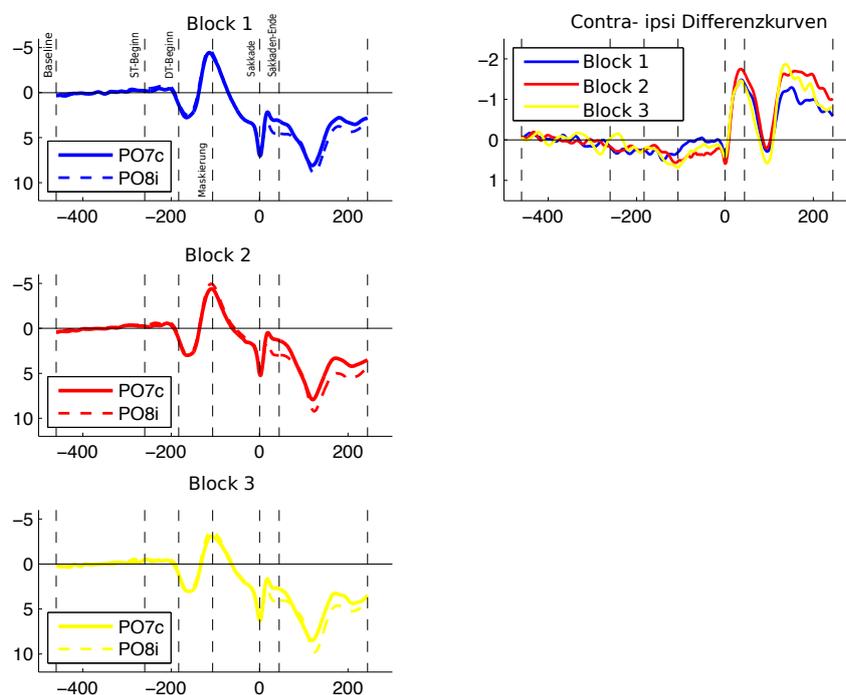


Abbildung 11. Haupteffekt „Block“. Zeitlich synchronisierte EKP-Kurven getrennt für die drei Blockbedingungen (li.), gemittelt über alle VPn, Trials und Positionen; Differenzkurven (re.). Negativität ist nach oben geplottet.

Abbildung 11 zeigt EKP-Kurven zum Haupteffekt „Block“ gemittelt über alle VPn aus Experiment 1 und Experiment 2 und alle Durchgänge, getrennt für die drei Blockbedingungen und, aufgrund nicht vorhandener signifikanter Positionseffekte, über alle Positionen (same, ss, os).

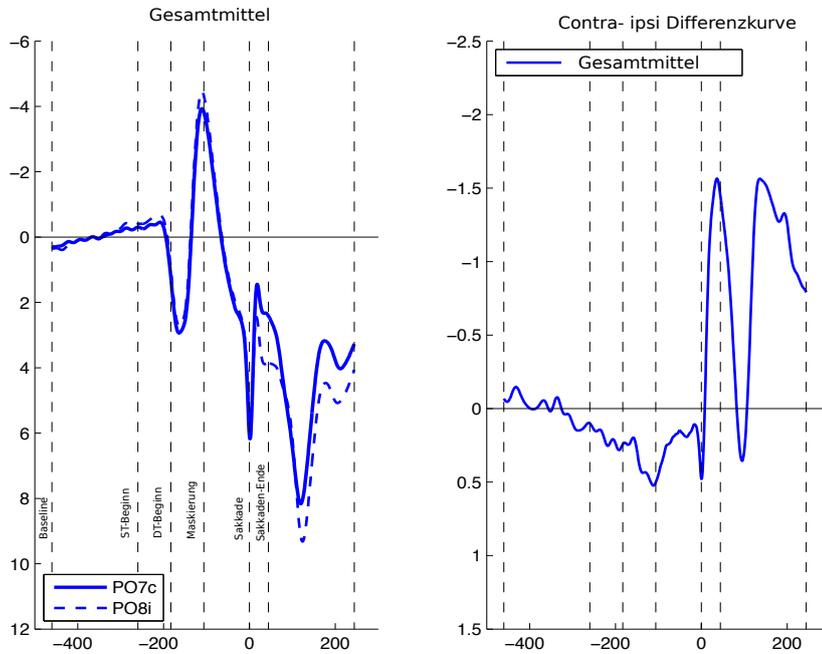


Abbildung 12. Veranschaulichung des Haupteffektes der Lateralität (hier „Elektrode“). Gemittelt wurden die EKP-Kurven über alle VPn, Durchgänge, Positionen und Blöcke.

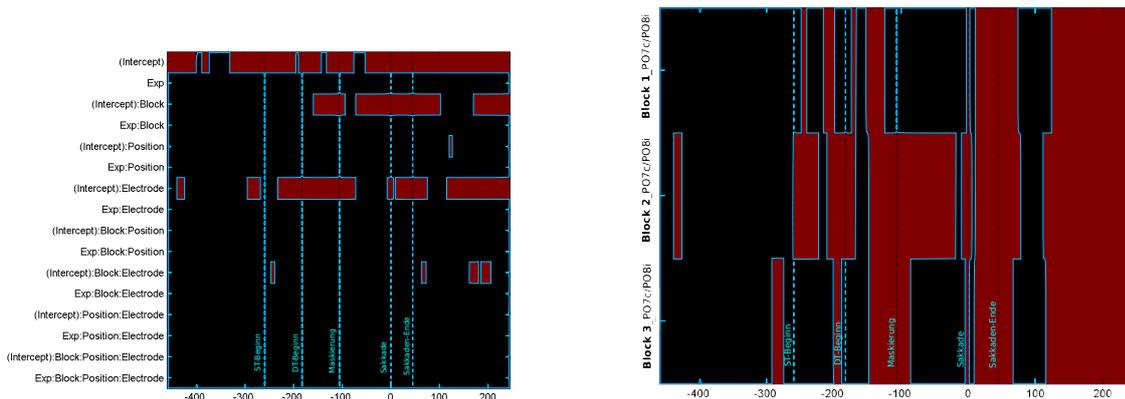


Abbildung 13. (re.) Post hoc Test-Diagramm zur Veranschaulichung der Interaktion Block x Lateralität (d.h. Differenz der Elektroden PO7c und PO8i, wobei PO7c hierbei stets die Daten von DTs kontralateral zum ST berücksichtigt und PO8i der DTs ipsilateral zum ST).

Um die Interaktion Block x Elektrode (d.h. Lateralität) aufzuschlüsseln, wurden t-Tests berechnet, wobei kontra- mit ipsilateralen Signalen innerhalb der 3 Blöcke verglichen wurden (siehe Abbildung 13). Die p-Werte wurden erst Bonferroni korrigiert, anschließend einer FDR-Korrektur unterzogen. Laut ANOVA war eine prä-sakkadische Signifikanz kurz nach Präsentation des STs zu beobachten. Der post hoc Test zeigte eine Signifikanz zwischen kontra- und ipsilateralen Signalen in diesem Zeitfenster für Block 1 (Einfachaufgabe) und Block 2 (Doppelaufgabe), nicht aber für Block 3 (Einfachaufgabe).

Erwartet wurden kontra- ipsilaterale Differenzen, welche aufgrund von Aufmerksamkeitsverlagerung hin zum ST in der Doppelaufgabenbedingung negativer ausgefallen wären. Dies wurde aufgrund der Merkmale der EKP-Komponente N2pc im Bereich von 100 ms vor Sakkadenbeginn angenommen. In der Einfachaufgabenbedingung wurden keine kontra- ipsilateralen Differenzen erwartet. Beide Annahmen konnten nicht bestätigt werden. Es fällt jedoch auf, dass die Differenzkurve der Doppelaufgabenbedingung entgegen der Erwartungen im Zeitraum um 100 ms vor Sakkadenbeginn etwas positiver ausfiel, als in Einfachaufgabenbedingung (siehe Abbildung 11). Wenn auch statistisch nicht signifikant, kann diese Beobachtung Anlass geben, diesen möglichen Effekt weiter zu untersuchen. Betrachtet man die Differenzkurven getrennt für die drei Positionsbedingungen (Abbildungen 8a, 8b, 8c), kann zumindest ein Trend erkannt werden. Für übereinstimmende Position von ST und DT ist dabei die erwartungsgemäß größte Lateralisierung (d.h. Unterschied zwischen PO7c und PO8i) zu beobachten – diese fällt jedoch entgegen der ursprünglichen Annahmen am positivsten aus. Auch für die gleiche Präsentationsseite kann mehr Positivität bei Block 2 als bei Block 1 und 3 festgestellt werden. In der Bedingung, wenn das DT auf gegenüberliegender Seite zum ST präsentiert wurde, konnte dies nicht festgestellt werden. Hier näherten sich die Differenzkurven weitgehend an. In Block 3 wurde eine etwas positivere kontra- ipsi Differenz beobachtet, als in Block 2.

Es konnten auch Signifikanzen kurz nach Sakkadenende (ca. 60 bis 65 ms nach Sakkadenbeginn) als auch etwa bei 155 ms bis 205 ms nach Sakkadenbeginn festgestellt werden. Hierfür waren die Differenzen zwischen kontra- bzw. ipsilateralen Signalen in allen 3 Aufgabenblöcken signifikant. Auch hier dürfen die weiteren Signifikanzen, welche in den post hoc Tests beobachtet werden konnten, nicht direkt interpretiert werden, da in diesen Bereichen keine Signifikanzen mittels ANOVA berechnet werden konnten und man somit nicht genau auf deren Ursache schließen kann. Betrachtet man die signifikanten Zeiträume in

Abbildung 11 (gemittelt über alle Positionen), fiel die kontra- ipsi Differenzkurve in Block 2 im Zeitraum um Sakkadenende negativer aus als für Block 1 und Block 3. Betrachtet man dies in den einzelnen Positionsbedingungen, sind unterschiedliche Ergebnisse zu beobachten. In valider Bedingung war die Differenzkurve von Block 1 am negativsten, in Block 3 etwas weniger und in Block 2 am wenigsten. In Bedingung invalid/gleiche Seite (ss) sowie in Bedingung invalid/andere Seite (os) sind die Differenzkurven von Block 1 und 2 etwas negativer als von Block 3.

Auch der zweite signifikante Zeitraum etwa 155-205 ms nach Ausführung der Sakkade soll genauer betrachtet werden. Über alle Positionen gemittelt erscheint die Differenzkurve von Block 2 etwas negativer als die von Block 3 und Block 1. Aufgeschlüsselt für die einzelnen Positionsbedingungen ist in allen eine überwiegend größere Negativität, jedoch nicht immer gleich eindeutig, bei Doppelaufgabenbedingung im Vergleich zur Einfachaufgabenbedingung für dieses Zeitfenster festzustellen.

5. Diskussion

Im vorliegenden Experiment wurde untersucht, ob die Art der Aufgabenstellung Einfluss auf verdeckte Aufmerksamkeitsverlagerung hat – konkreter ob sich Aufmerksamkeit in Abhängigkeit einer zusätzlich zur Augenbewegung zu bearbeitenden Diskriminationsaufgabe (Doppelaufgabe) schon vor der Sakkade hin auf das Sakkadenziel (ST) verlagert und wie sich dies im Vergleich zur Einfachaufgabenbedingung auswirkt. Es wurde aufgrund der Ergebnisse einer Vorstudie von Huber-Huber et al. (2016) erwartet, dass verdeckte Aufmerksamkeitsverlagerung vor Sakkadenbeginn bei Einfachaufgaben, bei denen ausschließlich Augenbewegungen hin aufs ST erfolgen mussten, nicht der Fall wäre. Untersucht wurde dies für Diskriminationstargets (DT), die an selber Position (same), auf gleicher Seite aber anderer Position (same side) oder auf gegenüberliegender Seite (opposite side) des STs präsentiert wurden.

5.1 Verhaltensdaten

Die Ergebnisse zeigten, dass die *Diskriminationsleistung* in Doppelaufgabenbedingung wie erwartet am besten ausfiel, wenn ST und DT am selben Ort präsentiert wurden, also in valider Bedingung. Dies entspricht dem räumlichen Kongruenzeffekt (Deubel & Schneider, 1996). Kein wesentlicher Unterschied bestand dahingegen darin, ob ST und DT auf gleicher Seite aber unterschiedlicher Position oder auf

gegenüberliegenden Seiten präsentiert wurden, also zwischen den beiden invaliden Bedingungen. Die Annahmen auf Grundlagen der Prämotor-Theorie, dass die Eigenschaften der Sakkade Auswirkung auf deren Programmierzeit haben, konnte damit nicht bekräftigt werden. Demnach sollten Aufgaben, bei denen ST und DT auf gleicher Seite (d.h. nur Amplitude neu programmiert) schneller bearbeitet werden können, als Aufgaben, bei welchen ST und DT auf gegenüberliegenden Seiten präsentiert wurden (d.h. Amplitude und Richtung neu programmiert; Rizzolatti et al., 1987).

Auch die *Reaktionszeit* – hier der Zeitunterschied zwischen ST-Präsentation und manueller Antwort per Tastendruck – war signifikant kürzer in valider Bedingung als wenn ST und DT an unterschiedlicher Stelle präsentiert wurden. Die Reaktionszeit war nicht ausschlaggebend für die Bearbeitung, sondern allein die Anzahl korrekter Antworten zählte. Diese Untersuchung sollte zusätzlich den erwarteten Aufmerksamkeitseffekt bekräftigen und ein Speed-Accuracy-Trade-Off (d.h. Genauigkeit lässt zugunsten von Schnelligkeit der Bearbeitung nach und vice versa) ausgeschlossen werden.

Aufgrund der Ergebnisse der Verhaltensdaten kann ein prä-sakkadischer Aufmerksamkeitseffekt festgestellt werden. Offenbar wurde die Aufmerksamkeit schon vor Sakkadenbeginn an den Zielort gelenkt, weshalb schneller und treffsicherer reagiert werden konnte, wenn ST und DT an gleicher Stelle präsentiert wurden im Vergleich zu invaliden Bedingungen.

Die Ergebnisse der *Sakkadenlatenzen* fielen nicht so eindeutig aus. Die Annahme, die Bearbeitung von Einfachaufgaben würde sich signifikant von der Bearbeitung von Doppelaufgaben unterscheiden, konnte nur zum Teil bekräftigt werden. Den Erwartungen entsprechend waren Latenzen am höchsten, wenn eine zusätzliche Aufgabe zu bearbeiten war (Kristjánsson et al., 2001). Der Unterschied zwischen den zu Beginn zu bearbeitenden Einfachaufgaben und den Doppelaufgaben fiel jedoch statistisch nicht signifikant aus. Signifikant war jedoch der Unterschied vom ersten Einfachaufgabenblock sowie den Doppelaufgaben zum zweiten Einfachaufgabenblock, welcher ident zum ersten zu bearbeiten war. In diesem letzten Aufgabenblock wurde erheblich schneller reagiert als in den beiden anderen Blöcken. Die Unterteilung der Einfachaufgabenbedingung in zwei Blöcke, wobei einer vor, der andere nach Bearbeitung der Doppelaufgaben vorgegeben wurde, sollte Reihenfolgeeffekten vorbeugen bzw. die Tatsache untersuchen, ob das Wissen über das Vorhandensein eines DTs – VPn wussten im ersten Block noch nicht darüber bescheid, jedoch im dritten schon – Einfluss auf die Bearbeitung hatte. Es scheint jedoch

einen ungewollten Lerneffekt gegeben zu haben, wobei es v.a. in Block 3 nach anstrengender Bearbeitung der Doppelaufgaben sichtlich leichter fiel, wiederum die Einfachaufgabe durchzuführen. Im Anschluss an das Experiment danach gefragt, gaben viele VPn auch an, die Reaktion auf den Farbkreis sei nach einiger Zeit quasi automatisch abgelaufen. Es war zu erkennen, dass die Verarbeitung von Farbreizen hier leichter fiel als die (zusätzliche) Verarbeitung der weniger auffälligen Formreize (in diesem Fall graue asymmetrische Kreuze). In weiteren Experimenten zu diesem Thema sollte der mögliche Lerneffekt berücksichtigt werden und zusätzlich zur Aufteilung in mehrere Blöcke auch die Reihung der Bedingungen systematisch variiert werden (z.B. eine Gruppe Doppelaufgabe/ Einfachaufgabe/ Doppelaufgabe/ Einfachaufgabe, eine andere Gruppe in umgekehrter Reihenfolge) bzw. die Prägnanz der Reize und dadurch entstehende Effekte bedacht werden. Die Position, an der das DT in Relation zum ST präsentiert wurde (same, ss, os), zeigte auch in Bezug auf die Sakkadenlatenzen keinen Effekt. Es wurde angenommen, dass in der Doppelaufgabenbedingung Latenzen in valider Bedingung am kürzesten ausfallen würden, sowie dass sie kürzer ausfallen würden, wenn das DT auf gleicher Seite wie das ST präsentiert wurde im Vergleich zu gegenüberliegenden Reizen. Die Ergebnisse zeigten jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Positionsbedingungen.

Annahme	Ergebnis
Doppelaufgabe: Diskriminationsleistung am besten in valider Bedingung	Annahme bestätigt: signifikante bessere Diskriminationsleistung, wenn ST und DT auf derselben Stelle präsentiert wurden (räumlicher Kongruenzeffekt)
Doppelaufgabe: Latenzen und manuelle Reaktionszeiten am kürzesten in valider Bedingung	Annahme z.T. bestätigt: manuelle Reaktionszeiten am kürzesten in valider Bedingung, jedoch kein Positionseffekt bei den Latenzen
Doppelaufgabe: Diskriminationsleistung + Latenzen + Reaktionszeiten kürzer bei invalid/ ss als bei invalid/ os	Annahme nicht bestätigt: kein signifikanter Unterschied in Diskriminationsleistung, Latenzen oder Reaktionszeiten zwischen invalid/ ss und invalid/ os
Latenzen generell höher bei Doppel- als bei Einfachaufgaben	Annahme statistisch nicht bestätigt: kein signifikanter Unterschied zwischen Block

	1 (Einfachaufgabe) und Block 2 (Doppelaufgabe), jedoch in Block 2 tendenziell längere Latenzen; signifikanter Unterschied zu Block 3 – hier deutlich kürzere Latenzen als in Block 1 und 2
--	--

Tabelle 3. Zusammenfassung der Ergebnisse der Verhaltensdaten.

5.2 EEG-Daten

5.2.1 Prä-sakkadische EKPs

Mittels EEG sollte untersucht werden, ob die Art der Aufgabenstellung Einfluss auf kontra- ipsilaterale Differenzen hat. Diese Methode wurde verwendet, da es anhand der Betrachtung von EKPs (hier der Komponente N2pc) möglich ist, Aufmerksamkeitsverlagerung auch ohne Doppelaufgabe zu beobachten und somit einen direkten Vergleich zwischen Einfach- und Doppelaufgabenbedingung anzustellen. Besonderes Augenmerk lag daher auf prä-sakkadischen EKPs, also EKPs, welche vor Sakkadenbeginn zu beobachten waren. Angenommen wurde, dass kontra- ipsilaterale Differenzen im Sinne der EKP Komponente N2pc (bzw. PCN) an den Elektrodenpositionen PO7 / PO8, etwa um 100 ms vor Sakkadenbeginn (bzw. etwa 180-290 ms nach Reizdarbietung, bezogen auf ST-Präsentation) bei Bearbeitung von Doppelaufgaben negativer ausfallen würden als bei Einfachaufgabenbedingung. Dies sollte zeigen, dass es in diesem Fall verdeckte Aufmerksamkeitsverlagerung gibt, wobei bei Einfachaufgaben – wie auch in der Vorstudie von Huber-Huber et al. (2016) – keine solche Verlagerung erwartet wurde.

Erwartungsgemäß konnten im prä-sakkadischen Zeitfenster Signifikanzen zwischen Einfach- und Doppelaufgabenbedingungen beobachtet werden. Entgegen unserer Annahmen wurden jedoch auch signifikante Unterschiede zwischen den beiden an sich identen Einfachaufgabenbedingungen beobachtet. Somit musste die weitere Analyse für die drei Blöcke getrennt stattfinden und nicht, wie eigentlich beabsichtigt, zu Einfach- und Doppelaufgaben zusammengefasst. Bei der Interaktion von Block x Lateralität wurden Signifikanzen für Block 1 und 2, nicht aber für Block 3 berechnet. Wie auch in den Verhaltensdaten, war in der EEG-Analyse entgegen der Erwartungen kein Positionseffekt zu beobachten.

Betrachtet man die Differenzkurven dennoch in jeder Positionsbedingung einzeln, fällt auf, dass – eigentlich erwartungsgemäß – die größte Lateralisierung in valider Bedingung festzustellen war. Jedoch spiegelte sich diese nicht wie angenommen in einer N2pc wider, sondern fiel in Doppelaufgabenbedingung etwas positiver aus als in Einfachaufgabenbedingung. Der erwartete Aufmerksamkeitseffekt, welcher auch in den Verhaltensdaten zu beobachten war (d.h. schnellere und genauere Diskriminationsleistung, wenn ST und DT an gleicher Stelle präsentiert wurden), zeigte sich demnach in den elektrophysiologischen Daten nicht und kann davon dissoziiert werden. Hier sieht es danach aus, als würde die Aufmerksamkeit nicht verdeckt hin zum Sakkadenziel verlagert, sondern dieses sogar unterdrückt werden (im Sinne einer posterioren Positivität, PD), welche klassischer Weise bei aktiver Aufmerksamkeitsunterdrückung von bestimmten Reizen zu beobachten ist (z.B. Sawaki & Luck, 2011) – möglicherweise zur besseren Bearbeitung des nicht so eindeutig ersichtlichen DTs. Es kann an dieser Stelle nicht vollständig aufgeklärt werden, worin dieser gegenläufige Aufmerksamkeitseffekt begründet liegt, wobei hier aufgrund fehlender Signifikanzen von Trends gesprochen werden muss. Diesem Trend nach sieht es so aus, als wäre die Lateralisierung in der Bedingung invalid/ gleiche Seite etwas weniger positiv und später ausgeprägt und in der Bedingung invalid/ gegenüberliegend am wenigsten bzw. gar nicht. Es darf hier jedoch nicht behauptet werden, dass diese angedeutete Lateralisierung von der Art der Aufgabenstellung abhängig ist, da es auch teilweise signifikante Unterschiede zwischen den beiden Einfachaufgabenblöcken gegeben hat. Außerdem waren entgegen der Annahmen nicht nur in Doppelaufgabenbedingung Unterschiede zwischen kontra- und ipsilateralen Signalen zu beobachten. Dies kann vielerlei Ursachen haben. Womöglich ist der Effekt der Aufgabenstellung aufgrund des vorliegenden Datensatzes oder der Versuchsanordnung bzw. Reihenfolge hier nicht zu beobachten, dies ist in weiteren Untersuchungen abzuklären. Ohne Positionseffekt ist schwer festzustellen, worin dieser Trend der prä-sakkadischen Positivität begründet liegen könnte. Aufgrund des fehlenden Positionseffekts (d.h. es spielt den Ergebnissen nach keine Rolle, an welcher Stelle das DT in Relation zum ST präsentiert wurde) müsste davon auszugehen sein, dass es keinen Grund gebe, das ST zu inhibieren. Die VPn wurden nach der Testung gefragt, ob sie eine bestimmte Technik anwendeten, um das schwer zu erkennende DT besser diskriminieren zu können. Mehrere VPn gaben dabei an, den Blick möglichst in der Mitte am Fixationskreuz zu orientieren, um das DT besser erkennen zu können, da die Bearbeitung des deutlicher sichtbaren STs viel einfacher bzw. praktisch automatisch erfolgte. Diese

(statistisch nicht erfasste) Angabe kann Hinweis auf absichtliche Unterdrückung des STs zugunsten der besseren Diskrimination des unscheinbareren DTs geben.

Einem anderen Ansatz nach wird davon ausgegangen, dass die N2pc hier womöglich nicht die angenommenen Effekte (d.h. als Marker verdeckter Aufmerksamkeitsverlagerung in diesem Fall bei Bearbeitung räumlich-visueller Aufgabenstellungen) darstellt. An diesem Punkt ist zu beachten, dass die N2pc erfahrungsgemäß eigenschaftsbasierte Aufmerksamkeit zeigt, z.B. bezogen auf Farbreize (z.B. Eimer, 1996; Luck, Fan & Hillyard, 1993). Schon Eimer (1996) wies darauf hin, dass zu überprüfen wäre, ob die N2pc tatsächlich zielorientiert und nicht nur auf Eigenschaft bezogen auftritt, indem ST und DT unterschiedlichen Eigenschaftsdimensionen angehören (z.B. Buchstaben vs. Farbe). In der Studie zur Untersuchung von Aufgabenstellungseffekten von Huber-Huber et al. (2016) bestand sowohl die Einfach- als auch die Doppelaufgabenbedingung aus der Betrachtung von Farbreizen. Es konnte zwar kein Effekt der Aufgabenstellung festgestellt werden, dies liegt aber womöglich an der kleinen Stichprobe (13 VPn). Eine größere kontra- ipsilaterale Differenz konnte beobachtet werden, wenn zwei Targets auf gleicher vs. auf gegenüberliegender Seite präsentiert wurden („target-side effect“). Hier wurde angenommen, dass zwei Targets auf gleicher Seite beide Aufmerksamkeit auf sich ziehen und dies den Lateralitätseffekt für gleichseitige Targets erhöht. Bei zwei gegenüberliegenden Targets hob sich dieser Effekt hingegen auf. Zudem war die Latenz der ersten Sakkade kürzer bei gleichseitigen im Gegensatz zu gegenüberliegenden Targets. Es ist jedoch auch möglich, dass die Beobachtung des erhöhten Lateralitätseffekts für gleichseitige Targets bzw. der unterschiedlichen Latenzzeiten aus dem Anstieg der Intensität der Eigenschaft (z.B. hier Farbe der Zielreize) resultierte und weniger mit der Programmierung der Sakkaden oder der Zuweisung von Aufmerksamkeit an sich zu tun hatte. In der vorliegenden Studie sollten, ohne Berücksichtigung dieses Erklärungsansatzes, u.a. diese Ergebnisse aus Huber-Huber et al. (2016) überprüft werden. Beachtet man nun hier den Aspekt, dass die N2pc v.a. eigenschaftsbasiert auftritt, könnte geschlussfolgert werden, dass die zweite Bedingung in der Doppelaufgabe, das kurz gezeigte und maskierte DT (= unscheinbares, asymmetrisches graues Kreuz), hier in Hinsicht auf eigenschaftsbasierte Aufmerksamkeit nicht mit dem Farb-Target (= bunter Kreis) vergleichbar war. Deshalb kann es sein, dass kein bzw. womöglich ein sehr schwer erfassbarer Einfluss auf die N2pc ausgeübt wurde. Womöglich besteht also hier mit nur einem Farbtarget nicht genug Evidenz für eine beobachtbare Differenz (welche demnach auch nicht aufmerksamkeits- sondern eigenschaftsbasiert wäre),

da die eigentliche Doppelaufgabe darin bestand, nicht nach der Farbe, sondern nach dem verschobenen Kreuz (d.h. Formsuche) zu suchen. Aufgrund der vorhergehenden Einfachaufgabe mit Suche nach dem Farbtargget könnte dabei vorherrschende Priorität für dieses Zieltarget auf sich gezogen haben, um diese auf das weniger saliente DT in der Doppelaufgabenbedingung umzulenken. Der Trend, den man in den Differenzkurven beobachten kann, könnte mit dem Wechsel zwischen diesen Dimensionen – Farbe und Form – in Verbindung stehen, anstatt einen Aufmerksamkeitseffekt mit Unterdrückung des STs zu zeigen. Untersuchungen hierzu zeigten, dass es länger dauert, wenn ein Zielreiz in mehreren möglichen Dimensionen (z.B. Farbe und Orientierung) präsentiert wird, als nur in einer Dimension (Traisman, 1988). Aufgrund der Notwendigkeit zwischen Dimensionen zu unterscheiden, entstehen Kosten in der Reaktionszeit. Found und Müller (1996) erklärten diese Beobachtung mit dem „Dimension-Weighting Account“ (DWA), wobei visuelle Dimensionen in frühen Wahrnehmungsprozessen gewichtet werden, also eine Umgewichtung der beschränkten Aufmerksamkeit bei einem Dimensionswechsel hin auf das neue Zielmerkmal stattfindet. Werden Targets in aufeinanderfolgenden Trials in der gleichen Dimension präsentiert, sind sie jedoch schneller und einfacher zu entdecken. Diese Erleichterung ist dabei mehr von der Dimension des Targets (z.B. Farbe) als von seiner Eigenschaft abhängig (z.B. rot). Die Farbe betreffend wurde zudem festgestellt, dass eine schnellere Reaktion erzielt werden konnte, wenn die Eigenschaften mehrerer Zielreize auf einem Bildschirm homogen waren (z.B. alle Zieltargets in Rot präsentiert) als heterogene Zielreize (z.B. gemischt rot/ grün; Müller, Heller & Ziegler, 1995). Ein solcher Effekt konnte für die Orientierung der Targets nicht festgestellt werden. Weiters wurden Untersuchungen dazu unternommen, welche EKPs beim Wechsel zwischen Dimensionen erzeugt werden. Dabei zeigte sich, dass dieser Vorgang aus mehreren einzelnen (teilweise gemeinsam agierenden) Prozessen besteht, je nachdem, ob eine Veränderung der Aufmerksamkeitsausrichtung auf verschiedene Aspekte eines Reizes, oder aber die Veränderung internaler Entschscheidungs-Sets – also Änderung der Art und Weise, wie Antworten gewählt werden mussten – benötigt wurde. Es wurden dabei ähnliche Muster von EKPs an parietalen Elektroden festgestellt, wenn VPn zwischen Aufmerksamkeits- oder intentionalen Sets wechseln mussten (siehe hierzu Rushworth, Passingham & Nobre, 2005). Dabei konnten Aktivitäten, welche durch Dimensionswechsel verursacht wurden, untersucht werden und zeigten erhöhte Aktivierung im linken frontopolaren Cortex, sowie in posterioren visuellen Arealen des dorsalen und ventralen Systems. Im visuellen Cortex

(Sehrinde) hingegen war eine verringerte Aktivität zu beobachten. Dieses Aktivierungsmuster gibt Hinweis auf Steuerung dimensionsübergreifender Aufmerksamkeitsverlagerung durch den frontopolen Cortex (Pollmann, Müller & von Cramon, 2000). In einer weiteren Studie zu in diesen Prozess involvierten EKPs, konnten u.a. negativere N2- Amplituden in frontalen Hirnregionen (passend zu den Ergebnissen von Pollmann et al., 2000) bei Dimensionswechsel beobachtet werden. In einer Studie von Töllner, Gramann, Müller, Kuss und Eimer (2008) wurde der Verzögerungsprozess, bedingt durch Verlagerung der Aufmerksamkeit auf eine neue zieldefinierende Dimension, durch verzögerte N2pc- Latenzen gezeigt.

In den hier vorgestellten Ansätzen mussten VPn Singleton Reize, also einzelne, durch ihre Eigenschaft hervorstechende Targets bearbeiten. Die Aufmerksamkeitsverlagerung bei Dimensionsänderung der Targets wurde dabei von Durchgang zu Durchgang beobachtet. Dennoch erscheint dieser Ansatz in der vorliegenden Studie zielführend, wobei hier die Bearbeitung verschiedener Dimensionen innerhalb eines Durchgangs gefordert wurde. Es könnte angenommen werden, dass die N2pc zwar, wie bereits vielfach untersucht (Born et al., 2012, Deubel & Schneider, 1996; Hoffman & Subramaniam, 1995; Kowler, Anderson, Doshier & Blaser, 1995; Rizzolatti et al., 1987), ein Maß für verdeckte Aufmerksamkeitsverlagerung darstellt, sie aber eben eigenschaftsbasiert auftritt und mit genereller prä-sakkadischer visuell-räumlicher Aufmerksamkeitsverlagerung – wie sie in den Verhaltensdaten gezeigt werden konnte – weniger zu tun hat.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie könnten als der Prämotor-Theorie widersprechend gedeutet werden, welche besagt, dass jede Augenbewegung in Form verdeckter Aufmerksamkeitsverlagerung hin auf das Sakkadenziel vorbereitet werden muss. Bei der Programmierung werden die Eigenschaften der Sakkadenrichtung und der Amplitude berücksichtigt (Rizzolatti et al., 1987). Dem obigen Ansatz nach handelt es sich jedoch um eine andere Art von Aufmerksamkeitsverlagerung, als die in der Prämotor-Theorie beschriebene, weshalb diese Schlussfolgerung an dieser Stelle nicht passend erscheint.

5.2.2 Sakkadische EKP

Neben den Effekten vor Sakkadenbeginn wurden auch Unterschiede nach Sakkaden-Beginn zwischen den Blöcken, zwischen kontra- und ipsilateralen Signalen (Lateralität) sowie signifikante Interaktionen von Block x Elektrode beobachtet. Die negativ gearteten

Amplituden der Differenzkurve deuteten auf eine EKP Komponente hin, welche als „Contralateral Delay Activity“ (CDA) bekannt ist. Die CDA kann als Marker des Beibehaltens von Informationen im visuellen Arbeitsgedächtnis interpretiert werden (z.B. Gao, Xu, Chen, Yin, Shen, Shui, 2011). Sie äußert sich in einer langsamen negativen EKP-Kurve, welche sensibel auf die Anzahl der präsentierten Objekte, die im visuellen Arbeitsgedächtnis behalten werden, reagiert. Diese Komponente entsteht kontralateral zu den präsentierten Stimuli. Im visuellen Arbeitsgedächtnis können nur wenige Items behalten werden (ca. 3-5 Items). Die Amplitude der CDA steigt typischerweise mit Anzahl der im visuellen Arbeitsgedächtnis behaltene Inhalte bis zu einem gewissen Maximum. Ebenso wie die N2pc ist sie an den Elektrodenpositionen PO7 (links) und PO8 (rechts) am stärksten ausgeprägt (Luria, Balaban, Awh & Vogel, 2016) und wird während der so genannten retention-Phase (Merkphase) gemessen, also in dem Zeitraum, wo überlegt bzw. entschieden wird, auf welcher Seite das Item gesehen wurde.

In der vorliegenden Studie war diese Merkphase bei Doppelaufgabenbedingung sobald die Sakkade ausgeführt wurde und per Tastendruck zu entscheiden war, ob das DT nach rechts oder nach links verschoben war. Da kein Positionseffekt für diesen Zeitraum festgestellt werden konnte, können die kontra- ipsilateralen Differenzkurven gemittelt über alle Positionen herangezogen werden (siehe Abbildung 11). Für die Doppelaufgabenbedingung ist theoriegemäß eine negativere Amplitude zu beobachten als in den beiden Einfachaufgabenbedingungen. Es zeigte sich jedoch auch für Einfachaufgabenbedingungen in diesem Zeitfenster ein negativerer Ausschlag, obwohl hierbei nichts zur weiteren Verarbeitung gemerkt werden musste, wie in Doppelaufgabenbedingung die Richtung der verschobenen Kreuzachse. Es könnte hier erwartet werden, dass die CDA am stärksten in valider Bedingung ausfiele, da an dieser Stelle ST *und* DT präsentiert wurden und dieser Position somit besonderes Augenmerk zukäme. Einen kleineren Effekt würde man für invalid/ gleiche Seite Bedingung erwarten und am wenigsten für invalid/ gegenüberliegende Seite, da sich hier die Lateralitätseffekte quasi aufheben würden. Dies konnte anhand der vorliegenden Daten jedoch nicht eindeutig beobachtet werden. Betrachtet man diesen post-sakkadischen Zeitraum getrennt für die Positionsbedingungen, ist für die valide Bedingung eine etwas negativere Differenzkurve in Doppelaufgabenbedingung bzw. eine wesentlich negativere in invalid/ gleiche Seite - Bedingung zu beobachten. In invalid/ gegenüberliegende Seite - Bedingung war eine negativere Differenzkurve in Doppelaufgabenbedingung gegenüber erster

Einfachaufgabenbedingung (jedoch etwa gleich wie in zweiter Einfachaufgabenbedingung) zu vermerken. Für die Beibehaltung eines Objekts im Arbeitsgedächtnis zum späteren Diskriminieren ist es womöglich auch einfacher, wenn es auf gleicher Seite beachtet werden muss, als wenn die vertikale Mittellinie überquert werden muss um ein Objekt auf gegenüberliegender Seite zu verarbeiten bzw. kommt dieser Seite durch 2 Targets mehr Beachtung zu.

Auch hier kann jedoch ein Ansatz sein, die Auswirkung der unterschiedlichen Dimensionen der Targets näher zu betrachten. Töllner, Eschmann, Rusch und Müller (2014) konnten zeigen, dass bei einer größeren Anzahl an Items dimensions-spezifische Kosten in der Reaktionszeit entstanden, wenn Targets in verschiedenen Dimensionen definiert wurden als nur in einer möglichen Dimension. Dies zeigte sich in einer verstärkten CDA-Amplitude. Die negativere Amplitude in valider und invalid/ gleicher Seite - Bedingung könnte daher aus der Notwendigkeit der Bearbeitung von Targets in verschiedenen Dimensionen (Farbe, Form) resultieren.

Anhand der vorliegenden Daten können jedoch keine eindeutigen Schlussfolgerungen gewonnen werden und die hier versuchten Erklärungsansätze erfordern Untersuchungen zur weiteren Abklärung.

Abschließende Bemerkungen

Die vorliegende Studie konnte anhand der Verhaltensdaten den erwarteten Effekt der Aufmerksamkeitsverlagerung in Doppelaufgabenbedingung anhand verkürzter Latenzen und höherer Treffsicherheit in validen Durchgängen zeigen. In den elektrophysiologischen Daten konnte dieser Effekt jedoch nicht beobachtet und damit kein Effekt der Aufgabenstellung festgestellt werden. Es zeigten sich jedoch Tendenzen gegenläufiger Richtung als erwartet, wonach kontra- ipsilaterale Differenzen eher positiver in Doppelaufgaben- als in Einfachaufgabenbedingung ausfielen. Hier erläuterte Erklärungsansätze – die mögliche Inhibition des STs oder die Problematik der unterschiedlichen Dimensionen von ST und DT – müssen in weiteren Untersuchungen näher betrachtet, sowie ein geeigneteres Versuchsdesign zur Beobachtung von Effekten der Aufgabenstellung auf kontra- ipsilaterale Differenzen eruiert werden. Auch wenn die hier gefundenen Ergebnisse nicht die erwarteten Effekte aufzeigten, ist die Untersuchung dennoch ein weiterer Schritt in der Erforschung fundamentaler Eigenschaften der EKP Komponente N2pc bzw. generell im Bereich räumlich-visueller Aufmerksamkeitsforschung.

Literatur

- Alvarez, G.A. (2013). Attention and action. In: Ochsner, K., Kossly, S (Eds.), *Oxford Handbook of Cognitive Neuroscience*. Oxford University Press, Oxford, UK, pp. 255-272.
- Ansorge, U., Kiss, M., Worschech, F., & Eimer, M. (2011). The initial stage of visual selection is controlled by top-down task set: new ERP evidence. *Attention, Perception, and Psychophysics*, 73(1), 113-122. doi: 10.3758/s12414-010-0008-3
- Becker, W., & Jürgens, R. (1979). An analysis of the saccadic system by means of double step stimuli. *Vision Research*, 19(9), 967-983. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(79\)90222-0](https://doi.org/10.1016/0042-6989(79)90222-0)
- Benjamini, Y., & Hochberg, Y. (1995). Controlling the false discovery rate: A practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 57(1), 289-300. <https://doi.org/10.2307/2346101>
- Born, S., Ansorge, U., & Kerzel, D. (2012). Feature-based effects in the coupling between attention and saccades. *Journal of Vision*, 12(11), 27-27. <https://doi.org/10.1167/12.11.27>
- Brainard, D. H. (1997). The Psychophysics Toolbox. *Spatial Vision*, 10(4), 433-436. <https://doi.org/10.1163/156856897X00357>
- Carpenter, R. H. S. (1981). Oculomotor procrastination. In: Fisher, D. F., Monty, R. A., Senders, J. W. (Eds.), *Eye Movements: Cognition and visual Perception* (S. 237-246). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Carpenter, R. H. S., & Williams, M. L. L. (1995). Neural computation of log likelihood in control of saccadic eye movements. *Nature*, 377(6544), 59-62. <https://doi.org/10.1038/377059a0>
- Cornelissen, F. W., Peters, E. M., & Palmer, J. (2002). The Eyelink Toolbox: Eye tracking with MATLAB and the Psychophysics Toolbox. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 34(4), 613-617. <https://doi.org/10.3758/BF03195489>
- Delorme, A., & Makeig, S. (2004). EEGLAB: An open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, 134(1), 9-21. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2003.10.009>
- Deubel, H. (2008). The time course of presaccadic attention shifts. *Psychological Research*, 72(6), 630-640. <https://doi.org/10.1007/s00426-008-0165-3>
- Deubel, H., & Schneider, W. X. (1996). Saccade target selection and object recognition: Evidence for a common attentional mechanism. *Vision Research*, 36(12), 1827-1837. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(95\)00294-4](https://doi.org/10.1016/0042-6989(95)00294-4)

- Dimigen, O., Sommer, W., Hohlfeld, A., Jacobs, A. M., & Kliegl, R. (2011). Coregistration of eye movements and EEG in natural reading: Analyses and review. *Journal of Experimental Psychology: General*, *140*(4), 552–572. <https://doi.org/10.1037/a0023885>
- Eimer, M. (1996). The N2pc component as an indicator of attentional selectivity. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *99*(3), 225–234. [https://doi.org/10.1016/S0921-884X\(96\)95711-2](https://doi.org/10.1016/S0921-884X(96)95711-2)
- Eimer, M., & Kiss, M. (2008). Involuntary attentional capture is determined by task set: Evidence from event-related brain potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *20* (8), 1423-1433. doi:10.1162/jocn.2008.20099
- Eimer, M., Velzen, J. Van, Gherri, E., & Press, C. (2007). ERP correlates of shared control mechanisms involved in saccade preparation and in covert attention. *Brain Research*, *1135*(1), 154–166. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2006.12.007>
- 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 and Performance*, *28* (4), 1030-1044. doi: 10.1037/0096-1523.18.4.1030
- Found, A., & Müller, H. J. (1996). Searching for unknown feature targets on more than one dimension: Investigating a “dimension-weighting” account. *Perception & Psychophysics*, *58*(1), 88–101. <https://doi.org/10.3758/BF03205479>
- Gao, Z., Xu, X., Chen, Z., Yin, J., Shen, M., & Shui, R. (2011). Contralateral delay activity tracks object identity information in visual short term memory. *Brain research*, *1406*, 30-42.
- Gutteling, T. P., van Ettinger-Veenstra, H. M., Kenemans, J. L., Neggers, S. F. W., Ettinger-veenstra, H. M. Van, 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*(9), 1931–1943. <https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21342>
- Hermens, F., & Walker, R. (2010). Gaze and arrow distractors influence saccade trajectories similarly. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *63*(11), 2120–2140. <https://doi.org/10.1080/17470211003718721>
- Hoffman, J. E., & Subramaniam, B. (1995). The role of visual attention in saccadic eye movements. *Perception & Psychophysics*, *57*(6), 787–795. <https://doi.org/10.3758/BF03206794>
- Huber-Huber, C., Ditye, T., Fernández, M. M., & Ansorge, U. (2016). Using temporally aligned event-related potentials for the investigation of attention shifts prior to and during saccades. *Neuropsychologia*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2016.03.035>

- Kappenman, E. S., & Luck, S. J. (2010). The effects of electrode impedance on data quality and statistical significance in ERP recordings. *Psychophysiology*, *47*(5), 888–904. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2010.01009.x>
- Klingner, J. (2010). Fixation-aligned pupillary response averaging. *Proceedings of the 2010 Symposium on Eye-Tracking* *1*(212), 275–282. <https://doi.org/10.1145/1743666.1743732>
- Kowler, E. (2011). Eye movements: The past 25 years. *Vision Research*. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2010.12.014>
- Kowler, E., Anderson, E., Doshier, B., & Blaser, E. (1995). The role of attention in the programming of saccades. *Vision Research*, *35*(13), 1897–1916. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(94\)00279-U](https://doi.org/10.1016/0042-6989(94)00279-U)
- Krebs, R. M., Boehler, C. N., Zhang, H. H., Schoenfeld, M. A., & Woldorff, M. G. (2012). Electrophysiological recordings in humans reveal reduced location-specific attentional-shift activity prior to recentering saccades. *Journal of Neurophysiology*, *107*(5), 1393–1402. <https://doi.org/10.1152/jn.00912.2010>
- Kristjánsson, Á., Chen, Y., & Nakayama, K. (2001). Less attention is more in the preparation of antisaccades, but not prosaccades. *Nature Neuroscience*, *4*(10), 1037–1042. <https://doi.org/10.1038/nn723>
- Lins, O. G., Picton, T. W., Berg, P., & Scherg, M. (1993). Ocular artifacts in EEG and event-related potentials I: Scalp topography. *Brain Topography*, *6*(1), 51–63. <https://doi.org/10.1007/BF01234127>
- Luck, S. J. (2005). An Introduction to the Event-Related Potential Technique. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, *78*(3), 388. <https://doi.org/10.1118/1.4736938>
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1994). Spatial filtering during visual search: evidence from human electrophysiology. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, *20*(5), 1000–14. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.20.5.1000>
- Luck, S. J., Fan, S., & Hillyard, S. A. (1993). Attention-related modulation of sensory-evoked brain activity in a visual search task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *5*(2), 188–195. <https://doi.org/10.1162/jocn.1993.5.2.188>
- Luria, R., Balaban, H., Awh, E., & Vogel, E. K. (2016). The contralateral delay activity as a neural measure of visual working memory. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *62*, 100–108.
- Lopez-Calderon, J., Luck, S. J. (2014). ERPLAB. An open-source toolbox for the analysis of event-related potentials. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8* (213). <http://dx.doi.org/10.2289/fnhum.2014.00213>.

- Montagnini, A., & Castet, E. (2007). Spatiotemporal dynamics of visual attention during saccade preparation: Independence and coupling between attention and movement planning. *Journal of Vision*, 7(14), 8. <https://doi.org/10.1167/7.14.8>
- Müller, H. J., Heller, D., & Ziegler, J. (1995). Visual search for singleton feature targets within and across feature dimensions. *Perception & Psychophysics*, 57(I), 1–17. <https://doi.org/10.3758/BF03211845>
- Noorani, I. (2014). LATER models of neural decision behavior in choice tasks. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnint.2014.00067>
- Pelli, D. G. (1997). The VideoToolbox software for visual psychophysics: transforming numbers into movies. *Spatial Vision*, 10(4), 437–442. <https://doi.org/10.1163/156856897X00366>
- Pollmann, S., Weidner, R., Müller, H. J., & Cramon, D. Y. von. (2000). A Fronto-Posterior Network Involved in Visual Dimension Changes. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(3), 480–494. <https://doi.org/10.1162/089892900562156>
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32(1), 3–25. <https://doi.org/10.1080/00335558008248231>
- Raftery, A. E. (1995). Bayesian model selection in social research. *Sociological Methodology*, 25, 111–163. <https://doi.org/10.2307/271063>
- 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(1), 31–40.
- Rushworth, M. F. S., Passingham, R. E., & Nobre, A. C. (2005). Components of attentional set-switching. *Experimental Psychology*, 52(2), 83–98. <https://doi.org/10.1027/1618-3169.52.2.83>
- Sawaki, R., & Luck, S. J. (2011). Active suppression of distractors that match the contents of visual working memory. *Visual Cognition*, 19(7), 956–972. <https://doi.org/10.1080/13506285.2011.603709>
- Töllner, T., Eschmann, K. C., Rusch, T., & Müller, H. J. (2014). Contralateral delay activity reveals dimension-based attentional orienting to locations in visual working memory. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 76(3), 655–662.
- Töllner, T., Gramann, K., Müller, H. J., Kiss, M., & Eimer, M. (2008). Electrophysiological markers of visual dimension changes and response changes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34(3), 531–542. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.34.3.531>
- Treisman, A. (1988). Features and Objects: The Fourteenth Bartlett Memorial Lecture. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 40(2), 201–237. <https://doi.org/10.1080/02724988843000104>

- 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*(1), 133–152. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2005.11.087>
- Ward, J. (2015). *The student's guide to cognitive neuroscience*. Psychology Press.
- Wauschkuhn, B., Verleger, R., Wascher, E., Klostermann, W., Burk, M., Heide, W., Luck, S. J. (1998). Lateralized human cortical activity for shifting visuospatial attention and initiating saccades. *Journal of Neurophysiology*, *80*(6), 2900–2910.
- Watson, A. B., & Pelli, D. G. (1983). Quest: A Bayesian adaptive psychometric method. *Perception & Psychophysics*, *33*(2), 113–120. <https://doi.org/10.3758/BF03202828>
- Weaver, M. D., van Zoest, W., & Hickey, C. (2017). A temporal dependency account of attentional inhibition in oculomotor control. *NeuroImage*, *147*, 880–894. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.11.004>
- Wolber, M., & Wascher, E. (2005). The posterior contralateral negativity as a temporal indicator of visuo-spatial processing. *Journal of Psychophysiology*, *19*(3), 182–194. <https://doi.org/10.1027/0269-8803.19.3.182>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Doppelaufgabe bei Deubel & Schneider (1996, S. 1829).....	12
Abbildung 2. Zeitliche Anpassung bei Klingner (2010, S. 277-278).....	18
Abbildung 3. Versuchsdesign.....	23
Abbildung 4. Zeitliche Anpassung bei Huber- Huber et al. (2016, S. 6).....	29
Abbildung 5a. Diskriminationsleistung same vs. ss/os	31
Abbildung 5b. Diskriminationsleistung same vs. ss vs. os	31
Abbildung 6. Reaktionszeiten	34
Abbildung 7. Sakkadenlatenzen	35
Abbildung 8a. EKP-Kurven „same“	38
Abbildung 8b. EKP-Kurven „ss“	39
Abbildung 8c. EKP-Kurven „os“	39
Abbildung 9. Diagramm zur Effektüberprüfung.....	40
Abbildung 10. Post hoc Test-Diagramm Block	41
Abbildung 11. EKP-Kurve zu Haupteffekt Block.....	42
Abbildung 12. EKP-Kurve zu Haupteffekt Elektrode.....	43
Abbildung 13. Post hoc Test-Diagramm Block x Lateralität.....	43

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Demographische Daten – Experiment 1.....	20
Tabelle 2. Demographische Daten – Experiment 2.....	20
Tabelle 3. Zusammenfassung der behavioralen Ergebnisse.....	48

Abkürzungsverzeichnis

ST	Sakkadentarget
DT	Diskriminationstarget
VP(n)	Versuchsperson(en)
EKP	Ereigniskorreliertes Potential

EEG	Elektroenzephalogramm
LATER-Modell	Linear Approach to Threshold with Ergodic Rate
same	valide Bedingung; ST und DT auf gleicher Position
ss	„same side“; invalide Bedingung, ST und DT auf gleicher Seite
os	„opposite side“; invalide Bedingung, ST und DT auf gegenüberliegenden Seiten
BF	Bayes Faktor
PD	Posteriore Positivität
PCN	Posterior Contralateral Negativity