

Aus der Klinik für Neurologie
der Universität zu Lübeck
Direktor: Prof. Dr. med. Thomas F. Münte

Die Hemisphärenasymmetrie der räumlichen und zeitlichen Aufmerksamkeit

Eine EEG-gestützte Studie

Inauguraldissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Universität zu Lübeck
-Aus der Sektion Medizin-

vorgelegt von
Lena Kruse
aus Lübeck

Lübeck 2019

1. Berichterstatter: Prof. Dr. rer. soc. Rolf Verleger

2. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Andreas Broocks

Tag der mündlichen Prüfung: 14.07.2020

Zum Druck genehmigt. Lübeck, den 14.07.2020

Promotionskommission der Sektion Medizin

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Hemisphärenasymmetrie	1
1.2. Visuelle Aufmerksamkeit	4
1.3. Das RSVP-Experiment	6
1.4. Der Vorteil des linken visuellen Halbfeldes und die räumliche und zeitliche Aufmerksamkeit	8
1.5. Elektroenzephalografie und visuelle evozierte Potentiale	10
1.6. Hypothesen und Fragestellungen	11
2. Material und Methoden	13
2.1. Experiment 1	13
2.1.1. Versuchsteilnehmer	13
2.1.2. Versuchsaufbau	14
2.1.3. Reizpräsentation	14
2.1.4. Eyetracker und Elektroofokulogramm	18
2.1.5. Elektroenzephalographie	19
2.1.6. Versuchsdurchführung	20
2.1.7. Verhaltensdatenanalyse	21
2.1.8. Verarbeitung der EEG-Daten	22
2.1.9. Analyse der EEG-Komponenten	23
2.1.10. Statistische Analyse	24
2.2. Experiment 2	25
2.2.1. Versuchsteilnehmer	25
2.2.2. Versuchsaufbau	26
2.2.3. Reizpräsentation	26
2.2.4. Eyetracker, Elektroofokulogramm und Elektroenzephalografie	26
2.2.5. Versuchsdurchführung	26
2.2.6. Verhaltensdatenanalyse	27
2.2.7. Verarbeitung der EEG-Daten	27
2.2.8. Analyse der EEG-Komponenten	27
2.2.9. Statistische Analyse	28
3. Ergebnisse	29
3.1. Experiment 1	29
3.1.1. Verhaltensdaten	29
3.1.1.1. Identifikation von T1	29
3.1.1.2. Identifikation von T2	31
3.1.2. EEG-Komponenten: Visuell-evozierte-Potentiale	34

3.2. Experiment 2	40
3.2.1. Verhaltensdaten	40
3.2.1.1. Identifikation von T1	40
3.2.1.2. Identifikation von T2	42
3.2.2. EEG-Komponenten: Visuell-evozierte-Potentiale	43
3.2.2.1. Latenzen der Visuell-evozierten-Potentiale	47
3.2.2.1.1. P1-Latenzen	47
3.2.2.1.2. N1-Latenzen	47
3.2.2.1.3. Kreuzkorrelation	48
3.2.2.2. Amplituden der Visuell-evozierten-Potentiale	49
3.2.2.2.1. P1-Amplituden	49
3.2.2.2.2. N1-Amplituden	49
4. Diskussion	50
4.1. Verhaltensdaten	50
4.1.1. Zusammenfassung der Ergebnisse der unilateralen Aufgabe	50
4.1.2. Zusammenfassung der Ergebnisse der bilateralen Aufgabe	51
4.1.3. Zusammenfassung der Hypothesen	52
4.1.4. Lateralisierung der exogenen räumlichen Aufmerksamkeit	53
4.1.5. Lateralisierung der endogenen räumlichen Aufmerksamkeit	55
4.1.6. Lateralisierung der zeitlichen Aufmerksamkeit	55
4.1.7. Lateralisierung von Wahrnehmungsprozessen	57
4.1.8. Interaktion zwischen den Hemisphären	58
4.1.9. Vorteil des rechten visuellen Feldes in der T1-Zielerkennung	60
4.1.10. Schlussfolgerung	60
4.2. EEG-Komponenten: Visuell-evozierte-Potentiale	61
4.2.1. Zusammenfassung der Ergebnisse	61
4.2.2. Zusammenfassung der Hypothesen	62
4.2.3. Lateralisierung von Wahrnehmungsprozessen	62
4.2.4. Einfluss der Aufmerksamkeit	64
4.2.5. Schlussfolgerung	65
5. Zusammenfassung	66
6. Literaturverzeichnis	68
7. Anhang	81
8. Danksagung	83
9. Lebenslauf	84

Abkürzungsverzeichnis

ANOVA	„analysis of variance“-Varianzanalyse
Cues	Hinweisreize
EEG	Elektroenzephalographie, Elektroenzephalogramm
EKP	Ereigniskorreliertes-Potential
GS	„gleiche Seite“-Zielreize T1 und T2 werden im gleichen visuellen Feld präsentiert
hEOG	horizontales Elektrookulogramm
IPL	Lobulus parietalis inferior
IPS	Sulcus intraparietalis
Lag	Abstand zwischen zwei Zielreizen
LED	Leuchtdiode
LH	linke Hemisphäre
LVF	linkes visuelles Feld
MRT	Magnetresonanztomografie
n.s.	nicht signifikant
PCCR	„pupil-center-corneal-refelction“-zentrale Pupillenreflektion
PET	Positronen-Emissions-Tomographie
RH	rechte Hemisphäre
RSVP	„rapid serial visual presentation“-schnelle visuelle Reizpräsentation
RVF	rechtes visuelles Feld
SD	„standard deviation“-Standardabweichung
T1	„target“-erster Zielreiz
T2	„target“-zweiter Zielreiz
vEOG	vertikales Elektrookulogramm
VEP	Visuell-evoziertes-Potential
VS	„verschiedene Seiten“-Zielreize T1 und T2 werden in verschiedenen visuellen Feldern präsentiert

1 Einleitung

Diese Arbeit untersucht die Asymmetrie der beiden Gehirnhemisphären in Bezug auf die räumliche und zeitliche visuelle Aufmerksamkeit. Durch die schnelle Präsentation von optischen Reizen wird zum einen das Antwortverhalten der Versuchsteilnehmer und zum anderen deren Gehirnaktivität mittels Elektroenzephalographie (EEG) analysiert. Dabei wird geprüft, ob sich eine Dominanz der linken oder rechten Hemisphäre für die Verarbeitung von räumlichen oder zeitlichen Aufmerksamkeitsprozessen finden lässt.

In der Einleitung wird zunächst ein Einblick in die allgemeine Hemisphärenasymmetrie und die visuelle Aufmerksamkeit geschaffen. Dabei wird im Besonderen auf die räumliche und zeitliche Aufmerksamkeit eingegangen. Darüber hinaus wird das Studienmodell der schnellen visuellen Reizpräsentation (RSVP) erklärt und es werden bisherige Forschungsergebnisse dargestellt. Schließlich werden die Hypothesen und Fragestellungen formuliert.

1.1 Hemisphärenasymmetrie

Zwischen der linken und rechten Hemisphäre lassen sich sowohl makroskopische und mikroskopische anatomische als auch funktionelle Unterschiede erkennen. Diese vielfältigen Unterschiede lassen sich unter dem Begriff der Hemisphärenasymmetrie zusammenfassen. Üben homologe Gehirnbereiche der beiden Hemisphären dabei verschiedene Funktionen aus, kann man auch von Lateralisierung einer Funktion sprechen. Zeigt eine Hemisphäre eine höhere Effizienz für eine Funktion, so wird dies auch als Hemisphären Dominanz bezeichnet. Interessant ist, in wie weit strukturelle auch funktionelle Hemisphärenunterschiede bedingen. Gleichzeitig ermöglicht das Corpus callosum als zentrale Gehirnstruktur den ständigen Informationsaustausch zwischen den beiden Gehirnhälften, sodass die lateralisierten Funktionen durch den interhemisphärischen Transfer zusammengeführt werden. Dies ist von entscheidender Bedeutung, da keine Funktion ausschließlich auf eine Hemisphäre begrenzt ist [21]. Allgemein gibt es derart viele Erkenntnisse über strukturelle und funktionelle zerebrale Asymmetrien, dass im Folgenden nur beispielhaft auf einige Unterschiede eingegangen werden kann.

Schon in den frühen Fetalstadien der Entwicklung weisen die linke und die rechte Gehirnhälfte unterschiedliche Level der Genexpression auf, welche vermutlich eine entscheidende Rolle für die Neurogenese und Entwicklung von neuronalen Verbindungen spielen [139, 140]. Lange Zeit wurde angenommen, dass die zerebrale Asymmetrie des Menschen einzigartig ist. Vermutungen gingen sogar davon aus, dass die genetischen Mutationen, welche die Hemisphärenasymmetrie programmieren, der Auslöser der Entstehung unserer Spezies *Homo sapiens* sein könnten [29]. Heute weiß man, dass die zerebrale Asymmetrie in vielen Arten anzutreffen ist [113]. Es ist also nicht die Hemisphärenasymmetrie, welche unsere Spezies einzigartig macht. Die Händigkeit und die Sprache bleiben allerdings zwei lateralisierte Funktionen, die den *Homo sapiens* deutlich von anderen Arten unterscheidet. Dass die linke Hemisphäre die Zentren der Sprachfunktion umfasst, sowie für eine auditorische Reizverarbeitung dominant ist, ist bereits seit dem 19. Jahrhundert bekannt. *Broca und Dax* beschrieben erstmals, dass eine Läsion innerhalb des posterioren Abschnittes des Gyrus frontalis inferior der linken Hemisphäre in einer Sprachproduktionsstörung ohne Sprachverständnisstörung resultiert [38]. *Lichtheim* beschrieb dieses Broca-Areal schließlich als Zentrum der Sprachproduktion [78]. *Wernicke* prägte hingegen den Begriff des nach ihm benannten Wernicke-Zentrums im Gyrus temporalis superior der linken Hemisphäre, welches bei einer entsprechenden Läsion eine Sprachverständnisstörung hervorruft. Auch besteht ein interessanter Zusammenhang zwischen Sprachlateralisierung und Händigkeit. Ungefähr 95 % der Rechtshänder und 72 % der Linkshänder weisen ihre Sprachdominanz in der linken Hemisphäre auf [72].

Ein interessantes Beispiel für die Interaktion einer strukturellen mit einer funktionellen Asymmetrie stellt das Planum temporale dar, ein gut untersuchtes perisylvisches Hirnareal hinter dem Heschl-Gyrus, welches in dem primären auditorischen Sprachzentrum (in der Wernicke Region) liegt [103, 151]. Bereits Anfang des 20. Jahrhunderts entdeckten *Pfeiffer und von Economo und Horn* [103, 151], dass das linke Planum temporale oft eine anatomisch größere Fläche umfasste als das rechte Planum temporale. *Geschwind & Levitsky* brachten später diese anatomische Asymmetrie mit funktionalen Asymmetrien in Verbindung [43]. Folgende Studien lieferten Beweise für einen Zusammenhang zwischen der Asymmetrie des Planum temporale mit funktionellen Asymmetrien wie Händigkeit und Sprachlateralisierung [68, 134, 135, 136]. Beispielsweise zeigten *Schlaug et al.* [117] so eine Assoziation der Asymmetrie zur effizienteren Verarbeitung von auditiven Informationen bei Musikern: Bei rechtshändigen Musikern mit absolutem Gehör konnte eine stark ausgeprägte Asymmetrie zugunsten der linken Hemisphäre belegt werden. Diese Musiker können einen Ton ohne

Hilfe eines Referenztones verbal bestimmen. Diese Funktion scheint im Planum temporale lokalisiert zu sein, welche mit einer entsprechenden linksseitigen Volumenzunahme der Struktur einhergeht [117].

Auch die Funktion der Händigkeit lässt sich strukturellen Hemisphärendifferenzen zuordnen. Die Tiefe des Sulcus centralis im Areal des handmotorischen Bereiches ist ausgeprägter in der linken Hemisphäre [2, 81]. Bei Linkshändern ist diese Lateralisierung der Tiefe in die linke Gehirnhälfte reduziert oder sogar nach rechts verschoben. Bemerkenswert ist die Tatsache, dass rechtshändige Musiker eine reduzierte Asymmetrie der Sulcus-Tiefe aufweisen. Insgesamt sind die Sulcus-Tiefen der Musiker in beiden Hemisphären deutlich größer als bei Nichtmusikern und dies ist umso stärker ausgeprägt, je früher mit dem Musizieren begonnen wurde [67]. Der frühe Beginn einer musikalischen Übung resultiert also in einer makroskopisch sichtbaren Veränderung der Gehirnstrukturen. Besonders interessant ist dabei auch, dass sich die Asymmetrie der Geschicklichkeit der Hände reduziert in Korrelation zur musikalischen Übung [67]. Das bedeutet beide Hände werden nahezu gleich gut bei Geschicklichkeitsaufgaben.

Durch zahlreiche Studien an gesunden Probanden sowie durch Läsionsstudien sind darüber hinaus viele weitere funktionelle Asymmetrien bekannt. So ist die visuelle Verarbeitung von schriftlichen Wörtern und Buchstaben in die linke Hemisphäre lateralisiert [31, 34]. Ziffern, Gesichter und Farben hingeben werden bevorzugt in der rechten Hemisphäre verarbeitet [100, 101]. Für visuell-räumliche Fähigkeiten weist die rechte Hemisphäre eine Dominanz auf [21, 23, 40]. Auf die Lateralisierung der visuellen Aufmerksamkeit wird im Folgenden näher eingegangen.

Die Ausprägung der Hemisphärenasymmetrie könnte auch abhängig vom Geschlecht sein. Einige Studien liefern Belege, dass Frauen im Vergleich zu Männern eine reduzierte Asymmetrie haben könnten [22, 50, 51]. Zum Beispiel zeigten *Shaywitz et al.* [122] mittels funktioneller Magnetresonanztomografie, dass bei Frauen eine betont bilaterale Aktivität bei einigen Sprachaufgaben verzeichnet werden konnte, welche bei Männern nach links lateralisiert war. Obwohl es zahlreiche Studien gibt, welche die Theorie der geschlechterabhängigen Lateralisierung der Sprache stützen, so gibt es genauso Arbeiten, welche keine Unterschiede zwischen den Geschlechtern feststellen konnten [72, 133]. Letztlich bleibt es unklar, ob die Sprache bei Frauen und Männer verschieden lateralisiert ist. *Holländer et al.* konnten in einer Arbeit eine zyklusabhängige Lateralisierung bei Frauen zeigen [62], welche allerdings im Folgenden nicht repliziert werden konnte [74].

1.2 Visuelle Aufmerksamkeit

Anatomisch werden visuelle Reize von der Retina über das Corpus geniculatum laterale in den primären visuellen Kortex (V1) geleitet, welcher im Okzipitallappen verortet ist. Das Corpus geniculatum laterale projiziert zum einen über eine magnozelluläre Schicht Informationen in den primären visuellen Kortex (V1) sowie in extrastriäre visuelle Assoziationskortexe (V2, V3), das mediale temporale Areal (V5) und schließlich in parietale Hirnregionen [45, 143]. Über diesen dorsalen Pfad werden Bewegungen wahrgenommen („wo“ etwas passiert) [143] und/oder Handlungen im Raum koordiniert („wie“ etwas passiert) [45]. Zum anderen werden visuelle Reize über eine parvozelluläre Schicht des Corpus geniculatum laterale in den primären visuellen Kortex (V1), in extrastriäre Assoziationskortexe (V2, V4) sowie in inferiotemporale Gehirnareale geleitet [89]. Dieser ventrale Pfad ist für die Wahrnehmung von Form und Farbe zuständig („was“ zu sehen ist). Auch das frontale Augenfeld ist bei der Verarbeitung von visuellen Informationen involviert [116].

Die allgemeine Funktion der Aufmerksamkeit kann als eine Selektion von Informationen aus unserer Umwelt beschrieben werden. Diese Selektion ist nötig, da uns unsere Umwelt eine Fülle von Reizen bietet, welche sich unmöglich alle verarbeiten lassen. Der Fokus unserer Aufmerksamkeit wird daher ständig verändert. Je nachdem was unser Interesse weckt und für unser Verhalten ausschlaggebend ist, wird unsere Aufmerksamkeit aktiv zielgerichtet. Visuelle Aufmerksamkeit ist also kein einheitlicher Prozess und jeder nimmt seine Umwelt daher verschieden wahr. Um zu verdeutlichen, wie Aufmerksamkeit durch visuelle Stimuli beeinflusst werden kann, gibt es zwei Mechanismen: Zum einen gibt es die sogenannte „Bottom-up-Kontrolle“, bei der ein Objekt die Aufmerksamkeit auf sich zieht („stimulus-driven“) [142]. Ein gutes Beispiel von *Corbetta & Shulman* [26] hierfür ist eine einzelne knallrote Blume, die auf einer grünen Wiese sofort hervorsticht, da sie eine andere Farbe aufweist. Es handelt sich um eine exogene Kontrolle der visuellen Aufmerksamkeit. Zum anderen gibt es die „Top-down-Kontrolle“, bei der unsere neuronalen Ressourcen eingesetzt werden, um einen Zielreiz absichtlich herauszufiltern. Sollen wir beispielweise diese eine bestimmte rote Blume in einem Meer aus gleichfarbigen Blumen ausfindig machen, so steuern wir innerlich, also endogen, unsere Aufmerksamkeit [32, 71]. Neben diesen exogenen und endogenen räumlichen Komponenten der Aufmerksamkeit gibt es zeitliche Aspekte der Aufmerksamkeit, also simplifiziert „wann“ etwas im Raum geschieht.

Historisch wurden einige klassische Aufmerksamkeitstheorien entwickelt. *Broadbent* beschrieb 1958 seine „*Filtertheorie der Aufmerksamkeit*“, wonach Reize schon auf einer sehr frühen Wahrnehmungsstufe gefiltert und aussortiert werden, da nur eine bestimmte Anzahl an Informationen verarbeitet werden könne [13]. Dass seine Theorie modifiziert werden musste, zeigt eine Studie von *Cherry* im Jahre 1953 [„*Der Cocktailpartyeffekt*“, 17]: In einem Stimmendurcheinander ist es durchaus möglich, sich nur auf ein Gespräch zu konzentrieren und andere Stimmen auszublenden, jedoch diese unterdrückten Informationen nicht gänzlich auszusortieren, sondern auf Signalhinweise reagieren zu können. Fällt also zum Beispiel der eigene Name in einem ausgeblendeten Gespräch, so können wir uns umorientieren und diesem Gespräch folgen. Die ausgeblendeten Informationen wurden also bis zu einem gewissen Grad verarbeitet und können wieder verfügbar gemacht werden. Dieses Phänomen wurde auch von *Treisman* in der „*Abschwächungstheorie der Aufmerksamkeit*“ beschrieben [141]. *Deutsch & Deutsch* hingegen entwickelten die „*Theorie der späten Selektion*“ [33], in welcher zunächst alle Informationen verarbeitet werden. Zu einem späteren Zeitpunkt würden dann ausschließlich für unser Verhalten relevante Reize weiter selektiert werden. Neuere Theorien vereinen die einzelnen Komponenten dieser Aufmerksamkeitstheorien [75, 76].

Posner et al. beschrieb visuelle, räumliche Aufmerksamkeit als „*spotlight that enhances the efficiency of the detection of events within its beam*“ [105]. Diese Scheinwerfer-Hypothese ist ein entscheidender Teil der „*Theorie der ortsbasierten Aufmerksamkeit*“. Die Aufmerksamkeit stellt in dieser Hypothese einen Lichtkegel dar, welcher gezielt einen Ort des Raumes beleuchtet. Die durch das Licht fokussierten Reize an diesen Ort werden dabei bevorzugt erkannt und verarbeitet. Bestätigung fand seine Hypothese darin, dass sowohl endogene als auch exogene Hinweisreize vor dem eigentlichen Zielreiz die Identifikationsrate des Zielreizes erhöhten [„*Spatial-Cueing*“, 106].

Duncan prägte hingegen die „*Theorie der objektbasierten Aufmerksamkeit*“ [36], welche beschreibt, dass Aufmerksamkeit unabhängig von der räumlichen Komponente nur auf einzelne Objekte fokussiert sein kann. Zum Beispiel belegt eine Studie der funktionellen Magnetresonanztomographie, dass dies auch der Fall ist, wenn zwei Objekte an einem räumlichen Ort präsentiert werden und sich überlagern [95].

Dass visuelle Aufmerksamkeit in die rechte Hemisphäre lateralisiert sein könnte, wird durch die Erkenntnis gestützt, dass Läsionen der rechten Hemisphäre häufiger und ausgeprägter zu einem Neglect führen, als Läsionen der linken Hemisphäre [11, 144, 153]. Als „Neglect“,

präziser „Hemi-Neglect“, wird eine Störung des Verhaltens bezeichnet, welche nach Hirnschäden auftritt und durch das Nichtbeachten von Reizen auf der kontralateralen Seite gekennzeichnet ist. Objekte und Personen werden auf der kontralateralen Seite der Läsion nicht mehr beachtet. Dies äußert sich zum Beispiel darin, dass nur eine Körperhälfte gewaschen und rasiert wird oder dass ausschließlich die Speisen von einer Seite des Tellers gegessen werden [11, 153].

Für eine Dominanz der rechten Hemisphäre in Bezug auf die visuelle räumliche Aufmerksamkeit spricht auch, dass vor allem der superiore parietale Kortex der rechten Hemisphäre aktiv ist, wenn die Aufmerksamkeit zwischen zwei Orten verlagert wird [25, 94]. Dabei wird die räumliche Aufmerksamkeit auch primär durch die rechte Hemisphäre aufrechterhalten [137].

1.3 Das RSVP-Experiment

Die visuelle Aufmerksamkeit hat zeitliche („wann“ etwas im Raum passiert) und räumliche („wo“ etwas im Raum passiert) Aspekte. Die Darstellung von räumlichen Körpern hat mit der Länge, Breite und Höhe drei Dimensionen. Somit verarbeitet die visuelle Aufmerksamkeit vier Dimensionen.

Bei der Methode der schnellen seriellen Reizpräsentation (engl.: „rapid serial visual presentation“) werden mehrere Zielreize in eine hochfrequente Abfolge von Stimuli eingebettet, welche an einer Position auf einem Bildschirm präsentiert werden [107]. Dabei werden die Reize nur für den Bruchteil einer Sekunde gezeigt. Die Stimuli, welche nicht identifiziert zu werden brauchen, werden dabei als Distraktoren bezeichnet [121]. Die zu erkennenden Zielreize müssen sich mindestens in einem Merkmal von den Distraktoren unterscheiden, wie zum Beispiel der Farbe [49]. Das zeitliche Auflösungsvermögen von visuellen Selektionsprozessen wird an seine Grenzen getrieben [152]. Durch diese Überlastung der visuellen Aufmerksamkeitskapazitäten können Erkenntnisse über die Verarbeitung von visuellen Reizen gewonnen werden [18]. Die Methodik untersucht somit die zeitlichen Dimensionen der visuellen Aufmerksamkeit.

Um die räumliche Dimension in die RSVP-Aufgaben zu integrieren, wandelten *Holländer, Corballis & Hamm* die Methodik im Jahre 2005 ab [61]. Sie zeigten nicht nur einen

Stimulusstrom, sondern zwei Ströme lateral eines mittigen Fixationskreuzes. Es entstand ein linkes visuelles Halbfeld (LVH), dessen Reize in der rechten Hemisphäre verarbeitet werden, sowie ein rechtes visuelles Halbfeld (RVH), dessen Reize in der linken Hemisphäre prozessiert werden. Da die Zielreize sowohl links oder auch rechts vom Fixationskreuz auftreten konnten, wurde so die visuelle räumliche Aufmerksamkeit in die RSVP-Aufgabe eingebracht.

Sollen in einer RSVP-Aufgabe zwei aufeinanderfolgende Zielreize erkannt werden, wobei der erste Zielreiz als T1 und der zweite Zielreiz als T2 bezeichnet wird, so kommt es zu einem Phänomen, welches sich Attentional Blink nennt: Folgt der zweite Zielreiz T2 in einem Zeitraum von 200 bis 500 ms auf den ersten Zielreiz T1, so zeigt sich eine verminderte Identifikationsquote von T2 [14]. *Raymond, Shapiro & Arnell* nannten dieses Defizit das „Blinzeln der Aufmerksamkeit“ [110]. Die Prozessierung von visuellen Reizen wird also temporär unterdrückt. Die zeitliche Variation wird durch eine unterschiedliche Anzahl an Distraktoren zwischen den beiden Zielreizen bestimmt. Dieser Abstand zwischen den beiden Zielreizen wird als „Lag“ bezeichnet. Interessanterweise lässt sich kein Attentional Blink beobachten, wenn beide Zielreize direkt hintereinander gezeigt werden, T2 somit an Position Lag 1 präsentiert wird. Dies wird in der Literatur als „Lag-1-Sparing“ bezeichnet [110, 149]. T2 kann ebenfalls gut identifiziert werden, wenn die Probanden angehalten wurden, den ersten Zielreiz zu ignorieren oder wenn T2 später als 500 ms auf T1 folgt [110].

Zahlreiche Theorien und Modelle zur Interpretation des Attentional Blinks wurden seit seiner Entdeckung verfasst [110, 121]. *Raymond et al.* [110] interpretieren den Attentional Blink beispielsweise als Hemmung der Aufmerksamkeitskapazität, welche in diesem Zeitintervall mit der Prozessierung des ersten Zielreizes beschäftigt ist. *Shapiro et al.* [121] gehen im Unterschied dazu davon aus, dass T2 in das Arbeitsgedächtnis gelangt, dort aber eine geringere Gewichtung als T1 erhält und daher nicht identifiziert wird. Im Gegensatz dazu zeigen *Wyble et al.* [155], dass der Attentional Blink stark reduziert werden kann, wenn auch die Reize zwischen T1 und T2 identifiziert werden müssen. Mehrere hinter einander präsentierte Zielreize erzeugen eine Verstärkung der Aufmerksamkeit. Erscheint jedoch innerhalb von 200 ms kein neuer Zielreiz, kommt es durch den Verarbeitungsprozess des zuvor präsentierten Zielreizes zur Unterdrückung der Aufmerksamkeit, was sich als Attentional Blink zeigt. Auch um eine zeitliche Reihenfolge zu erinnern, kommt es zu einer stufenweisen Verarbeitung der nacheinander präsentierten Reize. Demnach wäre der Attentional Blink Ausdruck einer Strategie, mit der gewährleistet wird, dass die zeitliche

Reihenfolge richtig wahrgenommen wird: Wenn nämlich keine Pause zwischen den Zielreizen gemacht wird, könnte man ihre Reihenfolge verwechseln. Ob der Attentional Blink Ausdruck von Kapazitätsgrenzen, Filtermechanismen oder Wahrnehmungsstrategien ist, ist bis heute nicht abschließend geklärt.

1.4 Der Vorteil des linken visuellen Halbfeldes und die räumliche und zeitliche Aufmerksamkeit

Die oben erwähnte bilaterale Variante der RSVP-Aufgabe von *Holländer et al.* [61] bestand aus zwei gleichzeitigen Strömen von Distraktoren, die im linken und rechten Gesichtsfeld dargestellt wurden und in welche zwei zu erkennende Zielreize eingebettet wurden. Diese erschienen mit einer fünfzigprozentigen Chance in einem der beiden visuellen Felder, sowie mit variierenden Abständen zwischen T1 und T2 (*Lags* von 100 bis 800 ms). Die Studie zeigte einen markanten Vorteil des linken visuellen Feldes in der T2-Identifikation. Die linksseitigen T2-Zielreize wurden bis zu 30 % besser als die rechtsseitigen T2-Zielreize erkannt. Dies steht im Gegensatz zu geringeren Effekten des Faktors visuelles Feld, welche in anderen Studien beobachtet wurden [55]. Zahlreiche Studien konnten diesen Vorteil des linken visuellen Feldes reproduzieren [5, 57, 62, 74, 115, 130, 145, 147, 148].

Der Vorteil des linken visuellen Halbfeldes könnte Ausdruck der Lateralisierung der exogenen räumlichen Aufmerksamkeit sein, dafür gibt es Belege [127, 132]. Bei der bilateralen RSVP-Aufgabe kommt die Ungewissheit der räumlichen Präsentation der Zielreize durch Variation der visuellen Felder zur zeitlichen Ungewissheit ihrer Präsentation hinzu. Eine große Anzahl von Studien hat gezeigt, dass die räumliche Orientierung der Aufmerksamkeit auf verhaltensrelevante Reize, welche an unvorhersehbaren Orten auftreten, durch ein in die rechte Hemisphäre lateralisiertes ventrales, frontoparietales Netzwerk gesteuert wird [27, 126]. *Shulman & Corbetta* [123] vermuten, dass dieses Netzwerk auch an der Erfassung der Zielreize beteiligt sein könnte. Der Vorteil des linken visuellen Feldes könnte daher durch die Dominanz der rechten Hemisphäre in Bezug auf die räumliche Aufmerksamkeit ausgelöst werden. *Śmigasiwicz et al.* [127] beispielsweise untersuchten diese Annahme, wobei die Beteiligung der räumlichen Aufmerksamkeit durch die Darstellung von gültigen, ungültigen und neutralen exogenen Hinweisen („*Cues*“) vor dem Erscheinen von T2 variiert wurde. Die Ergebnisse zeigen, dass der Vorteil des linken

visuellen Halbfeldes in der Zielreizerkennung mit einer verstärkten Beteiligung der exogenen räumlichen Aufmerksamkeit größer wurde (durch ungültige „Cues“) und mit einer verminderten Beteiligung (gültige „Cues“) nahezu nicht mehr bestand. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die räumliche Aufmerksamkeit tatsächlich lateralisiert sein könnte. Eine weitere Studie reproduzierte diese Ergebnisse [132]. Allerdings gibt es auch zwei Studien, deren Ergebnisse zeigen, dass der Vorteil des linken visuellen Feldes durch endogenes räumliches Cueing signifikant reduziert, aber nicht vollständig beseitigt, werden kann [128, Experiment 2 in 148].

Zeitliche Aufmerksamkeit wird als ein Prozess von vorübergehenden Modulationen definiert, in welchem sowohl Verstärkungen als auch Unterdrückungen der Reizverarbeitung durch einen Mechanismus des Gatings und der Filterung eine Rolle spielen und welcher es daher ermöglicht, relevante Ereignisse aus einem kontinuierlichen Fluss von Reizen zu selektieren [12, 99]. In der RSVP-Aufgabe sind die Anforderungen an die zeitliche Aufmerksamkeit am größten, wenn T2 innerhalb von 200 bis 500 ms nach T1 erscheint und die beiden Zielreize durch mindestens einen Distraktor voneinander getrennt werden [110]. *Holländer et al.* [61] interpretierten ihren beobachteten Vorteil des linken visuellen Feldes dementsprechend als Beweis dafür, dass die rechte Gehirnhälfte bei der Durchführung einer Attentional-Blink-Aufgabe und damit in der Modulation der zeitlichen Aufmerksamkeit überlegen ist. Sie schlussfolgerten, dass die rechte Hemisphäre hauptsächlich für die zeitliche Aufmerksamkeit zuständig ist. Manche Erkenntnisse stützen dieses Ergebnis: Das Entschlüsseln der zeitlichen Ordnung von visuellen Ereignissen oder die genaue Feststellung, wann ein Ereignis in einem Stimulusstrom auftritt, wird besser bewältigt, wenn die Reize im linken visuellen Feld auftreten [41, 85, 86]. Andere Studien gehen allerdings häufig davon aus, dass die linke Hemisphäre auf die zeitliche Aufmerksamkeit spezialisiert ist [92, 93, 96]. *Battelli et al.* [9] wiederum liefern Belege dafür, dass die zeitliche Aufmerksamkeit in beiden visuellen Feldern durch den rechten unteren Parietallappen gesteuert wird, ein entscheidendes Areal für die Verarbeitung von zeitlichen Dimensionen („wann“-Weg). Darüber hinaus wird die Dominanz der rechten Hemisphäre in der zeitlichen Informationsverarbeitung wahrscheinlicher, wenn eine Aufgabe eine kontinuierliche zeitliche Überwachung erfordert [97, 154]. Bisher gibt es allerdings keine konkreten Beweise, dass der Vorteil des linken visuellen Halbfeldes die Lateralisierung der zeitlichen Aufmerksamkeit widerspiegelt.

Es ist ebenfalls denkbar, dass der Vorteil des linken visuellen Halbfeldes Ausdruck der erlernten Leserichtung von links nach rechts ist [60, 109, 129]. Wird nämlich die gewohnte Leserichtung manipuliert, so bleibt der Vorteil des linken visuellen Feldes aus. Dies zeigt zum Beispiel eine Studie von *Ransley et al.* [109]: Präsentiert man englischsprachigen Versuchsteilnehmern gewohnte lateinische Buchstaben in horizontal versetzten Strömen in einer RSVP-Aufgabe, so zeigt sich ein Defizit in der Zielreizerkennung im rechten visuellen Feld (Leserichtung von links nach rechts). Führen aber arabische Versuchsteilnehmer die äquivalente Aufgabe mit arabischer Schrift durch (Leserichtung von rechts nach links), so bleibt dieses Defizit aus. Die Leserichtung scheint sich daher auf die Verarbeitung der Stimuli auszuwirken. Eine Studie von *Holcombe et al.* [60] stützt diese Beobachtungen. Gleichzeitig gibt es wiederum eine Studie, welche zeigt, dass auch Israelis und Taiwanesen, welche von rechts nach links, bzw. von oben nach unten lesen, eine höhere Identifikationsrate von T2 im linken visuellen Feld aufweisen [130]. Allerdings wurde dieser Effekt bei den Israelis reduziert beobachtet. Die Ergebnisse deuten also eher darauf hin, dass die erlernte Leserichtung ein ausschlaggebender Faktor für den Vorteil des linken visuellen Halbfeldes sein könnte.

Studien mit Split-Brain-Patienten zeigen keinen Vorteil des visuellen Feldes in der Zielreizerkennung, allerdings besitzen diese begrenzte Aussagekraft [44, 108]. So nahm in beiden Studien jeweils nur ein einziger Split-Brain-Patient teil, von denen einer an Epilepsie litt. Darüber hinaus schlossen *Giesbrecht & Kingstone* [44] nur sechs gesunde Probanden in die Kontrollgruppe ihrer Studie ein.

1.5 Elektroenzephalographie und visuell evozierte Potentiale

Die Elektroenzephalographie (EEG) stellt eine Methode zur Messung der elektrischen Gehirnaktivität an der Kopfoberfläche mittels Elektroden dar. Durch das direkte Ableiten von summierten Potentialschwankungen kann die Gehirnaktivität zeitgleich sichtbar gemacht werden. Diese Darstellung der Spannungsverläufe kann Informationen über die Aktivität der einzelnen Gehirnareale liefern. Optische Reize werden in ereigniskorrelierte Potentiale (EKPs) umgesetzt, welche als visuell evozierte Potentiale (VEPs) bezeichnet werden und Unterschiede der Hemisphären in der Verarbeitung von visuellen Informationen zeigen können. Die Parameter zur Beurteilung von visuell evozierten Potentialen sind die

Latenz sowie die Amplitude der Potentialwelle. Zwei vorausgehende Studien konnten zeigen, dass die durch den Distraktorenstrom ausgelösten Potentiale früher in der rechten Hemisphäre evoziert werden als in der linken Hemisphäre [145, 147]. Auch konnte eine größere Amplitude der Potentiale in der rechten Hemisphäre festgestellt werden [145] und es wurde angenommen, dass dies ein Ausdruck davon ist, dass optische Reize schneller und effizienter in der rechten Hemisphäre verarbeitet werden. Allerdings schlossen die Studien nur Rechtshänder in die Experimente ein. Eine Studie, welche ausschließlich Linkshänder als Versuchspersonen integrierte, konnte keinen Vorteil der rechten Hemisphäre bei der Generierung der Potentiale feststellen, obwohl sich auch ein Vorteil des linken visuellen Feldes in der T2-Zielreizerkennung zeigte [129].

1.6 Hypothesen und Fragestellungen

Sollen in einer RSVP-Aufgabe zwei Zielreize erkannt werden, so wird der zweite von ihnen (T2) häufiger richtig im linken visuellen Feld identifiziert (Vorteil des linken visuellen Feldes). Diese Arbeit untersucht den Vorteil des linken visuellen Feldes in der Zielreizidentifikation innerhalb einer bilateralen RSVP-Aufgabe. In zwei Experimenten werden links und rechts eines mittigen Fixationskreuzes in mehreren Versuchsdurchgängen Stimulusströme gezeigt, innerhalb derer es zwei Zielreize (T2 und T2) zu erkennen gilt. Die Zielreize sind in einem Strom aus Distraktoren eingebettet. Zusätzlich zum Antwortverhalten der Versuchsteilnehmer wird ihre Gehirnaktivität mittels Elektroenzephalographie gemessen und analysiert.

Die beiden durchgeführten Experimente untersuchen, ob der Vorteil des linken visuellen Halbfeldes in der Zielreizerkennung (T2) die Lateralisierung der zeitlichen und/oder der räumlichen Aufmerksamkeit widerspiegelt. Dabei lässt sich bei der räumlichen Aufmerksamkeit eine endogene und exogene Komponente unterscheiden.

Experiment 1

In dem ersten Teil des Experimentes (unilaterale Aufgabe) erschienen die beiden Zielreize stets gekoppelt nur in einem der beiden visuellen Felder und den Versuchsteilnehmern war stets bekannt, auf welcher Seite die Zielreize auftauchen würden. In dem zweiten Teil des Experimentes (bilaterale Aufgabe) konnten die beiden Zielreize gekoppelt oder getrennt

voneinander sowohl im linken oder rechten visuellen Feld erscheinen und den Versuchsteilnehmern war vor der Durchführung der Aufgabe nicht bekannt, wo die Zielreize auftauchen würden. In der unilateralen Aufgabe wurde folglich die exogene räumliche Aufmerksamkeit auf ein Minimum reduziert, da stets bekannt war, wo etwas geschieht. In der bilateralen Aufgabe hingegen war die exogene räumliche Aufmerksamkeit maximal involviert. Die endogene räumliche Aufmerksamkeit war in beiden Teilaufgaben beteiligt. Auch die zeitliche Aufmerksamkeit war in beiden Teilaufgaben durch Variation der zeitlichen T1-T2-Abstände involviert.

1. Wie verhält sich der Vorteil des linken visuellen Feldes, wenn die exogene räumliche Aufmerksamkeit maximal gefordert ist, bzw. minimal beansprucht wird?
2. Welchen Einfluss hat die zeitliche Aufmerksamkeit auf die Asymmetrie der visuellen Felder in Bezug auf die Zielreizerkennung?

Es werden die Hypothesen einer möglichen Lateralisierung der zeitlichen und/oder räumlichen Aufmerksamkeit überprüft. Falls die zeitliche Aufmerksamkeit lateralisiert wäre, und falls diese Lateralisierung verantwortlich für den Vorteil des linken visuellen Feldes wäre, dann müsste die Asymmetrie der visuellen Felder in der Zielreizerkennung mit geringeren Abständen von T1 zu T2 zunehmen. Falls die exogene räumliche Aufmerksamkeit lateralisiert wäre, müsste sich der Vorteil des linken visuellen Feldes in der bilateralen, nicht aber in der unilateralen Aufgabe zeigen. Sollte die endogene räumliche Aufmerksamkeit eine entscheidende Rolle für die Asymmetrie spielen, so müsste sich der Vorteil des linken visuellen Feldes sowohl in der unilateralen als auch in der bilateralen Aufgabe zeigen.

Experiment 2

Das zweite Experiment war bis auf wenige Ausnahmen deckungsgleich mit der unilateralen Aufgabe des Experiment 1 und wurde als Überprüfung der Ergebnisse des ersten Experimentes durchgeführt, da die unilaterale Aufgabe des Experiment 1 neue Erkenntnisse erbrachte.

1. Lassen sich die Ergebnisse der unilateralen Aufgabe des ersten Experimentes reproduzieren?

2 Material und Methoden

2.1 Experiment 1

2.1.1 Versuchsteilnehmer

Die Rekrutierung der Versuchsteilnehmer erfolgte über Aushänge auf dem Universitätsgelände sowie Internetgesuche. Insgesamt 22 Probanden nahmen an dem ersten Experiment der Studie teil. Zwei Versuchspersonen zeigten eine hohe Anzahl an Artefakten in den EEG- Aufzeichnungen, sowie systematische Augenbewegungen in Richtung der visuellen Zielreize. Die Daten dieser Versuchsperson mussten von der Auswertung ausgeschlossen werden. Die übrigen 20 Probanden setzten sich aus 12 weiblichen und 8 männlichen Teilnehmern zusammen. Die Studienteilnahme erfolgte freiwillig. Vor dem Beginn des Experimentes wurde jeder Versuchsteilnehmer über dessen Ablauf aufgeklärt und unterzeichnete eine Einwilligungserklärung sowie eine Bestätigung über die erfolgte Aufklärung. Außerdem war ein Fragebogen zu persönlichen Daten und Händigkeit auszufüllen. Zu den Ausschlusskriterien gehörten Linkshändigkeit und psychiatrische oder neurologische Erkrankungen. Sämtliche Probanden gaben an, sowohl neurologisch als auch psychiatrisch vollständig gesund zu sein. Nach dem Edinburgh Handedness Inventory Score [98] waren alle Versuchspersonen Rechtshänder ($\bar{x} = 94,3$, $SD = 7,8$). Das Durchschnittsalter der Studienteilnehmer betrug 24,8 Jahre ($SD = 6,5$). Bei der Mehrheit handelte es sich um Studenten der Universität zu Lübeck. Ein Teilnehmer war Abiturient. Den zu diesem Zeitpunkt höchsten Bildungsabschluss sämtlicher Studenten stellte das Abitur dar. Neun Versuchspersonen benötigten eine Brille bzw. Kontaktlinsen zur Herstellung einer normalen Sehschärfe. Für die Teilnahme am Experiment erhielten die Probanden eine Aufwandsentschädigung von jeweils 20 Euro oder wahlweise die Anerkennung von zwei Versuchspersonenstunden für Studierende der Psychologie.

2.1.2 Versuchsaufbau

Das Experiment fand bei schwacher Raumbeleuchtung in einem 15 m² großen Raum statt, welcher abgedunkelt wurde. Innerhalb dieses Raumes befand sich ein im Boden befestigter Sessel mit Armlehnen und ausschwenkbarem Tisch, auf welchem die Versuchspersonen Platz nahmen. Auf dem ausschwenkbaren Tisch wurde eine Computertastatur zur Eingabe der erkannten Stimuli platziert. Die visuellen Stimuli wurden durch die *Presentation Software 14.5* (Hersteller: Neurobehavioral Systems Inc., Albany, Canada) auf einem 17-Zoll Röhrenmonitor mit 100 Hz Bildwiederholfrequenz präsentiert. Der Monitor befand sich auf einem Tisch mittig vor dem Versuchsteilnehmer in 120 cm Entfernung. Ziffern als Zielreize wurden in den Ziffernteil, Buchstaben als Zielreize in den Buchstabenteil der Computertastatur eingegeben. Zwischen Sessel und Monitor stand ein Eyetracker (*Eyegaze Analysis System*, Hersteller: LC Technologies Inc., Fairfax, USA), welcher die Augenbewegungen der Probanden verfolgte. Das Elektroenzephalogramm (EEG) der Studienteilnehmer wurde mittels einer auf dem Kopf befestigten EEG-Haube mit Elektroden abgeleitet.

2.1.3 Reizpräsentation

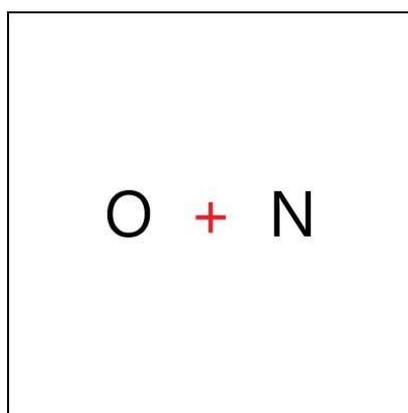


Abbildung 2.1 Schematische Darstellung des Bildschirms

Die Aufgabe der Probanden startete mit dem Erscheinen eines roten Kreuzes mittig auf dem Bildschirm. Dieses Kreuz galt es die gesamte Zeit während eines Versuchsdurchganges mit beiden Augen zu fixieren. Jeweils beidseits von dem roten Fixationskreuz, im linken und rechten Gesichtsfeld der Versuchsperson, lief ein Stimulusstrom aus schwarzen lateinischen Großbuchstaben ab. Diese schwarzen Buchstaben stellten die Distraktoren des Versuches dar (24 verschiedene Buchstaben: A, B, C, D, E, F, G, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, X, Y, Z). Es handelte sich um einen kontinuierlichen, ständig wechselnden Strom aus Distraktoren, innerhalb dessen ein Stimuluspaar (jeweils ein Buchstabe links und rechts neben dem roten Kreuz) für 120 ms gezeigt wurde. Auf ein Stimuluspaar folgte direkt das nächste. Eingebettet in diese Ströme erschienen pro Durchgang zwei Zielreize, die es für die Versuchsperson zu identifizieren galt. Der erste Zielreiz, als T1 bezeichnet, wurde durch einen roten Buchstaben (D, F, G, J, K oder L) repräsentiert, während der zweite Zielreiz, als T2 bezeichnet, eine schwarze Zahl (1, 2, 3, 4, 5 oder 6) darstellte. T2 folgte stets auf T1.

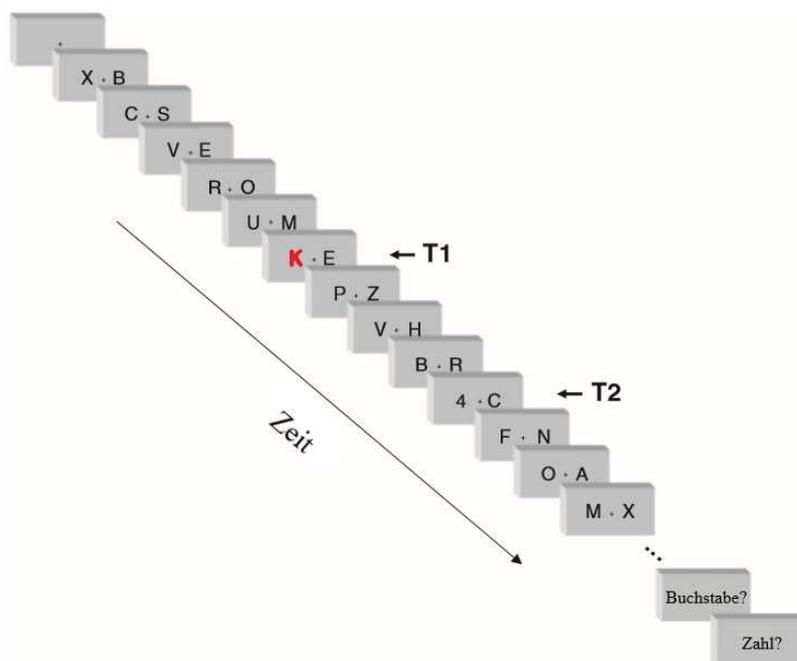


Abbildung 2.2 Abfolge der Monitorsequenzen in einem Versuchsdurchgang. In diesem Beispiel werden die Zielreize T1 und T2 beide im linken visuellen Feld präsentiert. T1 wird hier an der 6. Position gezeigt, T2 folgt 4 Positionen später (Abstand 4). Bei dem Zielreiz T1 handelt es sich in diesem Falle um den roten Buchstaben K. T2 wird durch die schwarze Zahl 4 repräsentiert.

Jeder Proband absolvierte das Experiment in vier Blöcken. In den ersten zwei Blöcken erschienen die Zielreize T1 und T2 ausschließlich gekoppelt im linken oder rechten visuellen Feld (unilaterale Aufgabe), in den zwei darauffolgenden Blöcken erschienen sie unabhängig voneinander in den beiden visuellen Feldern (bilaterale Aufgabe).

In der unilateralen Aufgabe startete der erste Proband (ID Nummer 1) mit einem Block, in dem nur im linken visuellen Feld Zielreize dargeboten wurden. Anschließend in dem zweiten Block wurden die Zielreize nur im rechten visuellen Feld gezeigt. Der Proband mit der ID Nummer 2 startete mit einem Block, in dem nur rechts Zielreize präsentiert wurden und die Zielreizseite wechselte ebenfalls blockweise. Folglich starteten alle Versuchsteilnehmer, die einer ungeradzahligen ID zugehörig waren, mit einem Block, in dem die Ereignisse links geschahen und sämtliche Versuchspersonen, die einer geradzahligen ID zugehörig waren, mit einem Block, in dem die Zielreize zuerst rechts dargeboten wurden. T2 erschien dabei immer auf der gleichen Seite wie T1. Den Probanden wurde vor dem Beginn eines Blockes mitgeteilt, in welchem visuellen Feld die Zielreize zu erwarten waren. Die Konzentration sollte sich auf diese Seite richten, die visuelle Fixierung des roten Kreuzes durfte dabei nicht gelöst werden. Somit wussten die Versuchsteilnehmer vor Beginn des Experimentes, wo die Zielreize räumlich erschienen, die zeitliche Erwartungshaltung wurde jedoch gering gehalten.

Die bilaterale Aufgabe stellte den dritten und vierten Block des Experimentes dar und wurde ähnlich der bilateralen Standard-RSVP-Aufgabe [61] aufgebaut: Der Zielreiz T1 erschien mit einer Wahrscheinlichkeit von fünfzig Prozent im linken oder im rechten visuellen Feld. T2 folgte daraufhin, ebenfalls mit einer Wahrscheinlichkeit von fünfzig Prozent, entweder auf der gleichen Seite wie T1 oder auf der entgegengesetzten Seite. Die Darstellung der Zielreize T1 und T2 wurde innerhalb der Blöcke randomisiert. Folglich wussten die Versuchsteilnehmer nicht wann ein Zielreiz erscheinen würde. Der entscheidende Gegensatz zur unilateralen Aufgabe bestand darin, dass die Probanden ebenfalls nicht wussten, wo sich die einzelnen Zielreize räumlich präsentieren würden. Alle weiteren Parameter waren identisch zur unilateralen Aufgabe.

Der weiße Monitorhintergrund wies eine Bildschirmhelligkeit von 120 cd/m^2 auf. Diese Helligkeit wurde mit einem LXcan Leuchtdichtenmessgerät (*Hersteller: Scanditronix Wellhöfer, Schwarzenbruck, Deutschland*) überprüft. Das rote Fixationskreuz maß $4,2 \text{ mm}$ in Höhe und Breite ($0,2^\circ \times 0,2^\circ$), bei einer Leuchtdichte von 24 cd/m^2 . Distraktoren und T2-Zielreize wiesen eine Leuchtdichte von 1 cd/m^2 auf. T1-Zielreize wiesen eine Leuchtdichte

von 24 cd/m² auf. Der innere Rand der Großbuchstaben befand sich 14 mm (0,7°) von dem Fixationskreuz entfernt. Die Größe der Stimuli, die mit einer Frequenz von annähernd 7,7/s gezeigt wurden, betrug 8,5 mm x 11 mm (0,5° x 0,6°). Vor dem Erscheinen von T1 wurden 5, 7 oder 9 Stimuluspaare gezeigt. T2 folgte auf T1 im gleichen visuellen Feld entweder 2 Stimuluspaare (*Abstand 2* nach 240 ms), 4 Stimuluspaare (*Abstand 4* nach 480 ms) oder 8 Stimuluspaare (*Abstand 8* nach 960 ms) später. Simultan zu T1 und T2 wurde auf der gegenüberliegenden Seite des roten Kreuzes ein schwarzer Großbuchstabe gezeigt. Dabei wurden niemals zwei gleiche Buchstaben zum selben Zeitpunkt präsentiert. Außerdem traten keine gleichen Buchstaben direkt hintereinander im Stimulusstrom auf. Nach dem Erscheinen von T2 folgten jederzeit 3 Stimuluspaare. Somit war ein Durchgang des Versuches aus 11 (T1 an 6. Position, T2 als *Abstand 2*) bis 21 Stimuluspaaren (T1 an 10. Position, T2 als *Abstand 8*) aufgebaut.

Ein Durchgang begann mit der Darstellung des roten Fixationskreuzes. Nach darauffolgenden 800 ms starteten die Stimulusströme. Während des gesamten Durchgangs war das rote Kreuz zentral abgebildet. Im Anschluss an die 11 bis 21 Stimuluspaare endete der Strom und es erschien auf dem Monitor die Aufforderung an die Versuchsperson, die Zielreize in die Tastatur einzugeben. War es den Versuchsteilnehmern nicht möglich einen oder beide Zielreize zu erkennen, so sollten sie nach bestem Ermessen raten. Nach Eingabe von T1 und T2 war ein Durchgang beendet. Die Versuchsperson wurde dann angewiesen, ihren Blick wieder auf den Bildschirm zu richten und das erneut aufleuchtende, rote Kreuz zu fixieren. War die Fixierung, welche durch den Eyetracker geprüft wurde, nicht gegeben, erschien ein rotes Ausrufezeichen für 500 ms an der Stelle des roten Fixationskreuzes und zog automatisch den Blick wieder an diese Position. Anschließend tauchte erneut das rote Kreuz für 800 ms auf, bevor die Stimulusströme starteten.

Ein Versuchsblock bestand aus 180 Durchgängen. Da das Experiment aus vier Blöcken aufgebaut war, gab es insgesamt 720 Durchgänge, die alle 20 Versuchsteilnehmer absolvierten. Bei jedem Durchgang wurde sowohl der rote Buchstabe T1 (D, F, G, J, K, L) als auch die schwarze Ziffer T2 (1, 2, 3, 4, 5, 6) zufällig präsentiert. Nach jedem Block wurde eine Pause für die Versuchsperson eingelegt.

Für die Verteilung von T1 und T2 in der unilateralen Aufgabe ergaben sich 6 Kombinationen und in der bilateralen Aufgabe ergaben sich 12 Kombinationen, welche jeweils mit 60 Wiederholungen während des Experimentes gezeigt wurden (2 visuelle Felder, rechtes und linkes visuelles Feld = RVF/ LVF x 3 Abstände x 60 Wiederholungen = 360 Durchgänge).

2.1.4 Eyetracker und Elektrookulogramm

Um die Aktivität der Gehirnhemisphären getrennt voneinander beurteilen zu können, war es essenziell für das Experiment, dass die Versuchsteilnehmer zu jeder Zeit der Versuchsdurchgänge mit ihrem Blick das zentrale Kreuz fixierten. Vor dem Beginn des Experimentes wurden alle Probanden sorgfältig über die Wichtigkeit der Fixierung aufgeklärt. Um diese Fixierung zu gewährleisten, wurde ein binokularer Eyetracker (*600 series, Eyegaze LC Technologies, Fairfax, VA*) verwendet. Dieser bestimmte die Blickposition der Probanden durch die Pupil-Center-Corneal Reflection (PCCR) Methode. Das Gerät strahlte mit einer infraroten Strahlung (LED) beide Pupillen der Versuchsperson an. Mittels Reflexion dieser Infrarotlichtquelle an den Pupillen konnte die Blickposition exakt ermittelt werden. Die Kamera des Eyetrackers wies dabei eine Bildfrequenz von 60 Hertz auf. Das Zentrum der Pupillen- und Kornealreflexion wurde durch eine Bildverarbeitungssoftware errechnet, welche mit dem Präsentationsprogramm kommunizierte. Eine horizontale Abweichung der Blickrichtung von über 0,625 cm (20 Pixeln) hinsichtlich der Mitte des roten Fixationskreuzes löste dabei das Aufleuchten des zuvor beschriebenen roten Ausrufezeichens aus. Vor dem Start eines jeden Durchganges wurde die adäquate Fixierung überprüft. Die Blickrichtung der Versuchsteilnehmer konnte auf diese Weise während der Versuchsdurchgänge kontinuierlich verfolgt werden. Zusätzlich ließen sich die Augen der Versuchsperson während des gesamten Experimentes über Video beobachten. Der Eyetracker wurde vor jedem Block erneut manuell kalibriert, sodass die Pupillen exakt angestrahlt wurden. Weiterhin diente ein horizontales Elektrookulogramm (hEOG) zur Kontrolle der seitlichen Augenbewegungen. Je eine Elektrode an den lateralen Augenwinkeln (links = lEOG, rechts = rEOG) registrierte abweichende Blickrichtungen vom zentralen Fixationskreuz. Ein vertikales Elektrookulogramm (vEOG) detektierte das Blinzeln einer Versuchsperson durch Elektroden über und unter dem rechten Auge (oberhalb = oEOG, unterhalb = uEOG).

2.1.5 Elektroenzephalographie

Die elektrische Hirnaktivität der Probanden wurde über 60 ringförmige Ag/AgCl-Elektroden (*Hersteller: Easycap GmbH, Herrsching, Deutschland*) abgeleitet und digital aufgezeichnet. Die Elektroden wurden nach dem international standardisierten 10-10-System auf einer EEG-Haube (*Easycap-EEG-Haube, Hersteller: Easycap GmbH, Herrsching, Deutschland*) befestigt. Daraus ergaben sich folgende 60 Elektrodenpositionen: AFz, Fz, FCz, Cz, CPz, Pz, POz, Oz, AF3, AF4, F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, FC1, FC2, FC3, FC4, FC5, FC6, FT7, FT8, C1, C2, C3, C4, C5, C6, T7, T8, CP1, CP2, CP3, CP4, CP5, CP6, TP7, TP8, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, PO3, PO4, PO7, PO8, PO9, PO10, O1, O2. Der gemessene Kopfumfang der Versuchsteilnehmer bestimmte die Größe der verwendeten EEG-Haube, die sich über einen Gurt unterhalb des Kinns befestigen ließ. Jede Elektrode wurde einzeln auf der Haube angebracht. Die Kopfhaut der Probanden wurde mittels in Ethanol getränkten Wattestäbchen gründlich gereinigt. Außerdem ließen sich Haare unterhalb der Elektrode auf diese Weise zur Seite schieben. Zur weiteren Verbesserung der Leitfähigkeit wurde zwischen Kopf und Elektroden eine sandhaltige Elektrodenpaste gespritzt. Die Impedanz sämtlicher Elektroden wurde auf diese Weise so lange verringert, bis sie unterhalb von 5 k Ω lag. War der Widerstand größer, wurde die Elektrode entfernt, die Haut erneut gereinigt und gegebenenfalls die Elektrode ausgetauscht. Zusätzlich wurde ein vertikales und horizontales Elektrookulogramm (EOG) über 4 Elektroden abgeleitet, welche sich ober- und unterhalb des rechten Auges sowie an beiden lateralen Augenwinkeln mittels Klebestreifen fixieren ließen (lEOG, rEOG, oEOG, uEOG). Zur Vorbereitung wurde die Gesichtshaut mit einer Peeling-Paste behandelt, bevor sie mit Ethanol gereinigt wurde. Diese Ableitungen waren nötig, um Blinzeln und abweichende Augenbewegungen in Richtung der Zielreize zu erkennen. Als EEG-Verstärker wurde BrainAmp MR plus (*Hersteller: BrainProducts GmbH, Gilching, Deutschland*) eingesetzt, welcher die Spannungen im Bereich von 0 Hertz bis 250 Hertz verstärkte und mit einer Frequenz von 500 Hertz je Kanal aufzeichnete. Die Position Fz stellte die online-Referenzelektrode dar, während die Daten offline auf die Nasenspitze (R= Referenz) umreferenziert wurden. Die Erdungselektrode befand sich an der Position Fpz.

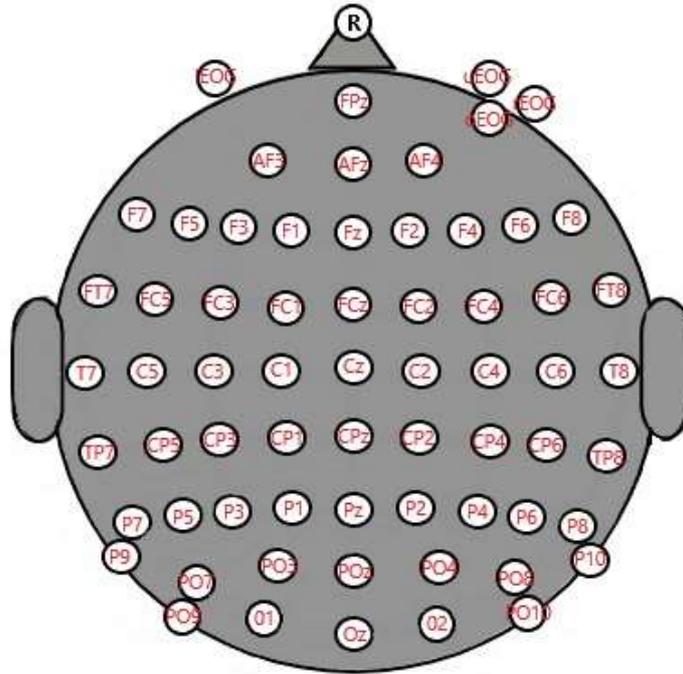


Abbildung 2.3 Schematische Position der 60 EEG-Elektroden. Kopfansicht von oben. R= Referenzelektrode auf der Nase.

2.1.6 Versuchsdurchführung

Die Durchführung des Experimentes erfolgte im EEG-Labor des Hauses 25a des Institutes für Neurologie am Campus des Universitätsklinikums zu Lübeck. Der Versuchszeitraum erstreckte sich vom 02. Dezember 2014 bis zum 20. Februar 2015.

Während der Versuchsperson in oben beschriebener Weise das EEG angelegt wurde, füllte sie die Einverständniserklärung, Aufklärung, sowie den Bogen des Edinburgh-Handedness-Inventory aus. Darüber hinaus erhielt die Versuchsperson eine Anleitung zur Durchführung des Experimentes. Ihr wurde der Versuchsaufbau und Versuchsablauf detailliert beschrieben. Vor allem die Verlagerung der Aufmerksamkeit zur Zielreizseite ohne Lösung der visuellen Fixierung des zentralen Kreuzes musste eingehend erläutert werden. Zum Verständnis sowie zur Gewöhnung folgten 5-10 Übungsdurchgänge, in denen die Stimuli für 500 ms gezeigt wurden. Im Vergleich zum späteren Experiment wurden sie 380 ms

länger präsentiert. Vor jedem Block des Experimentes führten die Probanden jeweils 8 Übungsdurchgänge in Originalgeschwindigkeit durch.

Neben der Betonung der Wichtigkeit der Fixierung des roten Kreuzes wurde die Versuchsperson angehalten, so wenig wie möglich zu blinzeln. Auch wurde den Probanden anhand des EEGs gezeigt, dass andere Bewegungen, Mimik, Sprache oder das Zusammenbeißen der Zähne EEG-Artefakte produzieren. Diese Bewegungen galt es zu vermeiden. Die Versuchsteilnehmer wurden darüber aufgeklärt, so ruhig wie möglich in einer angenehmen Position Platz zu nehmen und diese während eines Versuchsblocks nicht zu ändern. Dies traf ebenfalls für die Kopfhaltung zu, damit der Eyetracker die Pupillen der Versuchspersonen exakt ausleuchten konnte. Die Versuchsperson wurde instruiert, einzig zur Eingabe der Zielreize in die Tastatur den Blick zu senken, sobald diese Aufforderung auf dem Monitor erschien. Die Funktion des Eyetrackers und des roten Ausrufezeichens wurde erläutert. Nach einer Vorbereitungszeit von etwa einer Stunde erfolgte die Kalibrierung des Eyetrackers und das Experiment startete. Von einem Arbeitsplatz außerhalb des Versuchsraumes aus konnte das Experiment gesteuert und die Augen der Versuchsperson beobachtet werden, sodass es nicht nötig war, den Raum während der Versuchsblöcke zu betreten. Die Dauer des eigentlichen Experimentes variierte zwischen 1,5 und 2 Stunden, je nach Pausenlänge zwischen den Blöcken und Häufigkeit des Erscheinens des roten Ausrufezeichens. Nach jeder Pause zwischen den einzelnen Blöcken wurde der Eyetracker neu kalibriert. Nach Ende des Versuches wurden die Elektroden entfernt und den Probanden die Möglichkeit geboten, ihre Haare zu waschen.

2.1.7 Verhaltensdatenanalyse

Der prozentuale Anteil der korrekt erkannten Zielreize T1 wurde separat für die unilaterale und die bilaterale Aufgabe berechnet. Der prozentuale Anteil der korrekt erkannten Zielreize T2 wurde separat für die unilaterale Aufgabe, für die bilaterale Aufgabe/T1 und T2 im gleichen visuellen Feld (bilateral/gleiche Seite [GS]) und für die bilaterale Aufgabe/T1 und T2 in verschiedenen visuellen Feldern (bilateral/verschiedene Seite [VS]) berechnet.

Die Identifikationsrate von T1 wurde aus allen Durchgängen bestimmt. Dabei wurde der Quotient der Durchgänge, in denen T1 richtig erkannt wurde, zu allen Durchgängen gebildet. Der prozentuale Anteil der korrekt erkannten T2-Zielreize wurde aus den Durchgängen

bestimmt, in denen sowohl T1 als auch T2 richtig erkannt wurden. Die Identifikationsrate von T2 bildete sich aus dem Quotienten der Durchgänge, in denen T1 und T2 richtig erkannt wurden, in Bezug auf alle Durchgänge, in denen T1 korrekt erkannt wurde.

Zur Überprüfung der Fragestellungen war es unerlässlich, dass T2 als nachfolgender Zielreiz auf einen vorausgegangenen Signalreiz T1 erkannt wurde. In den Durchgängen in denen T1 nicht korrekt angegeben wurde, war es möglich, dass T2 als erster Zielreiz verarbeitet wurde, da die Versuchsperson T1 wahrscheinlich nicht gesehen hatte. Die Identifikationsrate von T2 bildete sich daher in Bezug auf alle Durchgänge, in denen T1 korrekt erkannt wurde.

Erkannte ein Versuchsteilnehmer die Zielreize zufällig richtig durch Raten, wurden diese Angaben als korrekte Identifikationen gewertet.

$$\text{Rate}_{T1} = \frac{\text{T1 korrekt}}{\text{Durchgänge gesamt}} \quad \text{Rate}_{T2} = \frac{\text{T1 korrekt und T2 korrekt}}{\text{T1 korrekt}}$$

Abbildung 2.4 Formel zur Berechnung der Zielreizangaben

2.1.8 Verarbeitung der EEG-Daten

Die Verarbeitung der aufgezeichneten EEG-Daten erfolgte mit der Software *BrainVision Analyzer (Version 1.05, Hersteller: BrainProducts GmbH, Gilching, Deutschland)*. Die Daten sämtlicher Durchgänge wurden auf die Referenzelektrode R bezogen und bei einer Grenzfrequenz von 20 Hz tiefpassgefiltert. Ziel der Verarbeitung der Daten war es, visuell evozierte Potentiale (VEPs) zu analysieren. Dazu mussten die Durchgänge in zeitliche Segmente geschnitten werden. Dies war nötig, um ausschließlich Distraktorpotentiale vor dem Erscheinen des Zielreizes T1 in die Analyse einzubeziehen. Dieses zeitliche Segment umfasste 900 ms: Es startete 100 ms vor dem Erscheinen des ersten Stimuluspaares und endete 800 ms danach. Die segmentierten Daten wurden auf die ersten 100 ms des Segments als Basislinie bezogen. Zur Beseitigung von Artefakten wurden Durchgänge ohne Spannungssignal und Durchgänge, in denen Spannungssprünge $\geq 50 \mu\text{V}$, Spannungsdifferenzen $\geq 200 \mu\text{V}$, sowie absolute Amplituden von $\geq 100 \mu\text{V}$ auftraten, entfernt. Durch diese Kriterien wurden ebenfalls Durchgänge verworfen, in denen Artefakte

durch Blinzeln und große abweichende Augenbewegungen in Richtung der Stimulusströme detektiert wurden.

Darüber hinaus wurde das horizontale Elektrookulogramm (hEOG) ausgewertet, um systematische, kleinere Augenbewegungen in Richtung der seitlich vom Fixationskreuz gelegenen Stimulusströme zu detektieren. Für die horizontalen EOG-Wellenformen wurden Mittelwerte der Links-Rechts-Differenzen berechnet. Die EEG-Daten einer Versuchsperson mussten von der Analyse ausgeschlossen werden, falls sich im Mittelwert aller hEOG-Daten Spannungen zeigten, die in den ersten 700 ms nach der Präsentation des Zielreizes T1 um mehr als $8 \mu\text{V}$ von der Basislinie abwichen. Schließlich wurde ein Hochpassfilter mit einer Grenzfrequenz von 3 Hz auf den Datensatz angewendet, um artifizielle langsame Schwingungen, verursacht entweder durch erwartungsbedingte Negativitäten oder durch zufällige Fluktuationen, auszuschließen.

2.1.9 Analyse der EEG-Komponenten

Es wurden die visuell evozierten Potenziale (VEPs) analysiert. Dabei wurden bei der Datenanalyse nur diejenigen Durchgänge eingeschlossen, in welchen T1 korrekt erkannt wurde, da Fehler in der T1-Identifikation auf einen fehlenden Fokus der Aufmerksamkeit auf das richtige visuelle Feld hindeuten könnten.

Der Gesamtdurchschnitt der akzeptierten, zu analysierenden VEP-Segmente betrug 43 ($SD = 9,8$, mit einem Minimum von 19 bis zu einem Maximum von 60).

Die durchschnittlichen Wellenformen der VEPs bestanden aus einer Reihe von P1-N1-Deflexionen, die durch die Reihe der Distraktorreize hervorgerufen wurden. Die Analysen begannen mit den VEPs, welche durch das erste Reizpaar hervorgerufen wurden, und wurden an der Stelle des fünften Stimuluspaares beendet, weil die sechste Welle bereits durch den Zielreiz T1 hervorgerufen werden konnte. Dabei wurden stets die Daten der über dem rechten und linken okzipito-temporalen Kortex gelegenen Elektroden PO7 und PO8 verwendet, da an diesen beiden Punkten die maximalen VEP-Amplituden abgeleitet werden können.

Um die Ergebnisse der VEPs grafisch darzustellen, wurden Gesamtmittelwerte über alle Probanden gebildet, die in Form von Spannungs-Zeit-Diagrammen und Topographien

veranschaulicht wurden. Es wurde jeweils über eine der drei Aufgabenbedingungen (LVF, RVF, Bilateral) gemittelt. Unter Verwendung der Daten der Elektrode PO8 wurde zusätzlich ein Graph (RH) erstellt, welcher die VEPs innerhalb der rechten Hemisphäre in Bezug auf die bilaterale Aufgabe mit der unilateralen Aufgabe (LVF) vergleicht. Darüber hinaus wurde ein Graph erstellt (LH), welcher die VEPs innerhalb der linken Hemisphäre in Bezug auf die bilaterale Aufgabe mit der unilateralen Aufgabe (RVF) vergleicht unter Verwendung der Daten der Elektrode PO7.

Ein Kreuzkorrelationsverfahren wurde angewendet, um Latenzunterschiede zwischen den Hemisphären über die gesamte Länge der VEP-Wellenformen (800 ms) zu bestimmen. Die VEP-Spannungskurven der linken (PO7) sowie der rechten Hemisphäre (PO8) wurden einzeln bei jeder Versuchsperson miteinander korreliert, um zu ermitteln, ob sie über eine gegenseitige zeitliche Verschiebung verfügten. Dabei wurde jeweils eine der beiden Kurven in Schritten von 2 ms in Bezug auf die andere Kurve verschoben. Die Korrelation der beiden Kurven wurde für ein Intervall von -50 ms bis +50 ms einzeln berechnet. Die Latenzdifferenz der VEP-Spannungskurven der beiden Hemisphären wurde als die zeitliche Verschiebung definiert, bei welcher der Korrelationskoeffizient sein Maximum erlangte.

2.1.10 Statistische Analyse

Die T1-Identifikationsraten wurden durch eine 3 x 2 x 2 mehrfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) mit *Abstand* (2, 4, 8), *visuellem Feld* (LVF, RVF) und *Aufgabe* (unilateral, bilateral) als Messwiederholungsfaktoren analysiert.

Die T2-Identifikationsraten wurden durch Unterscheidung zwischen der bilateralen Aufgabe mit T1 und T2 im gleichen visuellen Feld und mit T1 und T2 in verschiedenen visuellen Feldern analysiert. Faktoren waren dabei *Abstand* (2, 4, 8), *visuelles Feld* (LVF, RVF) und *Aufgabe* (unilateral, bilateral/gleiche Seite [GS], bilateral/verschiedene Seite [VS]) für eine 3 x 2 x 3 ANOVA. Falls für einen Faktor mehr als zwei Stufen existierten (d.h. für den Faktor *Abstand*), wurde zur Korrektur der Freiheitsgrade der Greenhouse-Geisser-Koeffizient angewendet.

Die Latenzdifferenzen der Spannungskurven der visuell evozierten Potentiale (VEPs) wurden mit Hilfe von t-Tests gegen Null getestet. Die t-Tests wurden dabei für jede der drei

Aufgabenbedingungen (LVF, RVF, Bilateral) einzeln durchgeführt. Da keine dieser Analysen das Signifikanzniveau erreichte, wurde eine ANOVA mit den drei Aufgabenbedingungen (LVF, RVF, Bilateral) als Faktoren durchgeführt, um zu prüfen, ob der Gesamtmittelwert aller drei Aufgabenbedingungen sich signifikant von Null unterscheidet, bzw. ob sich die Aufgabenbedingungen signifikant voneinander unterscheiden. Darüber hinaus wurden t-Tests der Latenzdifferenzen der Spannungskurven für jede Hemisphäre durchgeführt (RH, LH). Zusätzlich wurde eine einfaktorielle ANOVA mit dem Faktor *Hemisphäre* (RH, LH) ausgearbeitet.

2.2 Experiment 2

Das zweite Experiment unterscheidet sich nur in Teilen von dem ersten Experiment. Im Folgenden wird daher ausschließlich auf die Unterschiede zu Experiment 1 eingegangen.

2.2.1 Versuchsteilnehmer

Insgesamt 21 Versuchspersonen nahmen an dem zweiten Experiment teil. Keiner von ihnen hatte zuvor an Experiment 1 teilgenommen. Eine Versuchsperson zeigte systematische Augenbewegungen in Richtung der visuellen Felder, weshalb diese Daten von der Auswertung ausgenommen werden mussten. Die übrigen 20 Probanden setzten sich aus 13 weiblichen und 7 männlichen Teilnehmern zusammen. Nach dem Edinburgh Handedness Inventory Score [98] waren alle Versuchspersonen Rechtshänder ($\bar{x} = 95,0$, $SD = 7,7$). Das Alter der Studienteilnehmer variierte zwischen 19 und 31 Jahren ($\bar{x} = 23,1$ Jahre, $SD = 3,1$). Bei der Mehrheit handelte es sich um Studenten der Universität zu Lübeck. Eine Teilnehmerin war Studentin der Universität Potsdam, ein weiterer Proband hatte ein Studium im Ausland abgeschlossen. Den zu diesem Zeitpunkt höchsten Bildungsabschluss sämtlicher Studenten stellte das Abitur dar. Der höchste Bildungsabschluss des ausländischen Absolventen war ein Diplom. Fünf Versuchspersonen benötigten eine Brille bzw. Kontaktlinsen zur Herstellung einer normalen Sehschärfe.

2.2.2 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau entsprach dem des ersten Experimentes.

2.2.3 Reizpräsentation

Das zweite Experiment bestand aus vier Versuchsblöcken und war deckungsgleich mit der unilateralen Aufgabe des ersten Experimentes bis auf wenige Ausnahmen, welche im Folgenden erläutert werden. Ein Stimuluspaar wurde für 130 ms gezeigt, damit 10 ms länger als im ersten Experiment. Der Zielreiz T2 folgte auf T1 im gleichen visuellen Feld entweder 2 Stimuluspaare (*Abstand* 2 nach 260 ms), 4 Stimuluspaare (*Abstand* 4 nach 520 ms), 6 Stimuluspaare (*Abstand* 6 nach 780 ms) oder 8 Stimuluspaare (*Abstand* 8 nach 1040 ms) später. Somit wurde zusätzlich der *Abstand* 6 in das Experiment eingebracht.

Ein Versuchsblock bestand aus 144 Durchgängen. Da das Experiment aus vier Blöcken aufgebaut war, gab es insgesamt 576 Durchgänge, die alle 20 Versuchspersonen absolvierten. Nach jedem Block wurde eine Pause für die Versuchsperson eingelegt.

Für die Verteilung von T1 und T2 ergaben sich 8 Kombinationen, welche mit 72 Wiederholungen während des Experimentes gezeigt wurden (2 visuelle Felder, rechtes und linkes visuelles Feld = RVF/ LVF x 4 Abstände x 72 Wiederholungen = 576 Durchgänge).

2.2.4 Eyetracker, Elektroofokulogramm und Elektroenzephalographie

Siehe Darstellung in Experiment 1.

2.2.5 Versuchsdurchführung

Die Durchführung des Versuches entsprach ebenfalls der des ersten Experimentes.

2.2.6 Verhaltensdatenanalyse

Der prozentuale Anteil der korrekt erkannten Zielreize T1 und T2 wurde separat für jede der 8 gegebenen Bedingungen berechnet (4 Abstände x 2 VFs). Die Zielreize T1 und T2 wurden dabei analog zu Experiment 1 berechnet.

2.2.7 Verarbeitung der EEG-Daten

Die Verarbeitung des EEG-Datensatzes erfolgte deckungsgleich zu Experiment 1.

2.2.8 Analyse der EEG-Komponenten

Es wurden die visuell evozierten Potenziale (VEPs) analog zu Experiment 1 analysiert. Der Gesamtdurchschnitt der akzeptierten, zu analysierenden VEP-Segmente betrug 490 ($SD = 78$, mit einem Minimum von 239 bis zu einem Maximum von 566).

Um die Ergebnisse der VEPs grafisch darzustellen, wurden Gesamtmittelwerte über alle Probanden des zweiten Experimentes gebildet, die in Form von Spannungs-Zeit-Diagrammen und Topographien veranschaulicht wurden. Dabei wurde jeweils über eine der beiden Aufgabenbedingungen (LVF, RVF) gemittelt. Es wurden stets die Daten der Elektrode PO8 der rechten Hemisphäre, sowie die Daten der Elektrode PO7 der linken Hemisphäre verwendet.

Ein Kreuzkorrelationsverfahren wurde analog zu Experiment 1 angewendet.

Zusätzlich erfolgte ein Gipfelbestimmungsverfahren. Dabei besteht die Technik darin, die Amplitude und das Zeitintervall (Latenz) zwischen aufeinanderfolgenden Maxima (Gipfel) und Minima (Mulden) innerhalb der Spannungskurven der VEPs zu messen. Um die hemisphärischen Unterschiede der VEPs zu bestimmen, wurden die Latenzen und Amplituden der P1- und N1-Gipfel, die von den ersten fünf Paaren von Distraktorreizen hervorgerufen wurden, gemessen. Dabei wurde der positivste Wert des visuell evozierten Potentials in einem Zeitfenster von 50 bis 150 ms nach jeweiligem Stimulusbeginn als P1

und der negativste Wert in einem Zeitfenster von 140 bis 240 ms post Stimulus als N1 festgelegt. Das Verfahren erfolgte halbautomatisch mit den Daten der Elektroden PO7 und PO8, da die Amplituden der VEPs an diesen Elektroden am größten waren. Das Analyseverfahren wurde manuell korrigiert, falls Gipfel außerhalb der angegebenen Zeitfenster lagen.

2.2.9 Statistische Analyse

Die T1- und T2-Identifikationsraten wurden durch 4 x 2 mehrfaktorielle Varianzanalysen (ANOVA) mit *Abstand* (2, 4, 6, 8) und *visuellem Feld* (LVF, RVF) als Faktoren analysiert.

Zunächst wurden die Latenzdifferenzen der Spannungskurven der visuell evozierten Potentiale mit Hilfe eines t-Tests gemittelt über beide Aufgabenbedingungen (LVF, RVF) gegen Null getestet. Außerdem wurden t-Tests der Latenzdifferenzen der Spannungskurven in Bezug auf die gerichtete Aufmerksamkeit zur kontralateralen VF-Seite (PO7 mit der Aufmerksamkeit auf das RVF vs. PO8 mit der Aufmerksamkeit auf das LVF), bzw. in Bezug auf die gerichtete Aufmerksamkeit zur ipsilateralen VF-Seite (PO7 mit Aufmerksamkeit auf LVF vs. PO8 mit Aufmerksamkeit auf RVF) durchgeführt.

Über die Latenzen und Amplituden der P1- und N1-Gipfel wurden mehrfaktorielle Varianzanalysen (ANOVA) mit den Faktoren *Stimulusstrom* (kontralateral, ipsilateral zur betrachteten Hemisphäre), *Hemisphäre* (RH, LH) und *Reizposition* (erster bis fünfter Distraktorreiz) durchgeführt.

3 Ergebnisse

3.1 Experiment 1

3.1.1 Verhaltensdaten

3.1.1.1 Identifikation von T1

Im Folgenden sind die Mittelwerte der Identifikationsraten von T1 in Abb. 3.1 dargestellt und mit den Standardabweichungen in Tab. 3.1 aufgelistet.

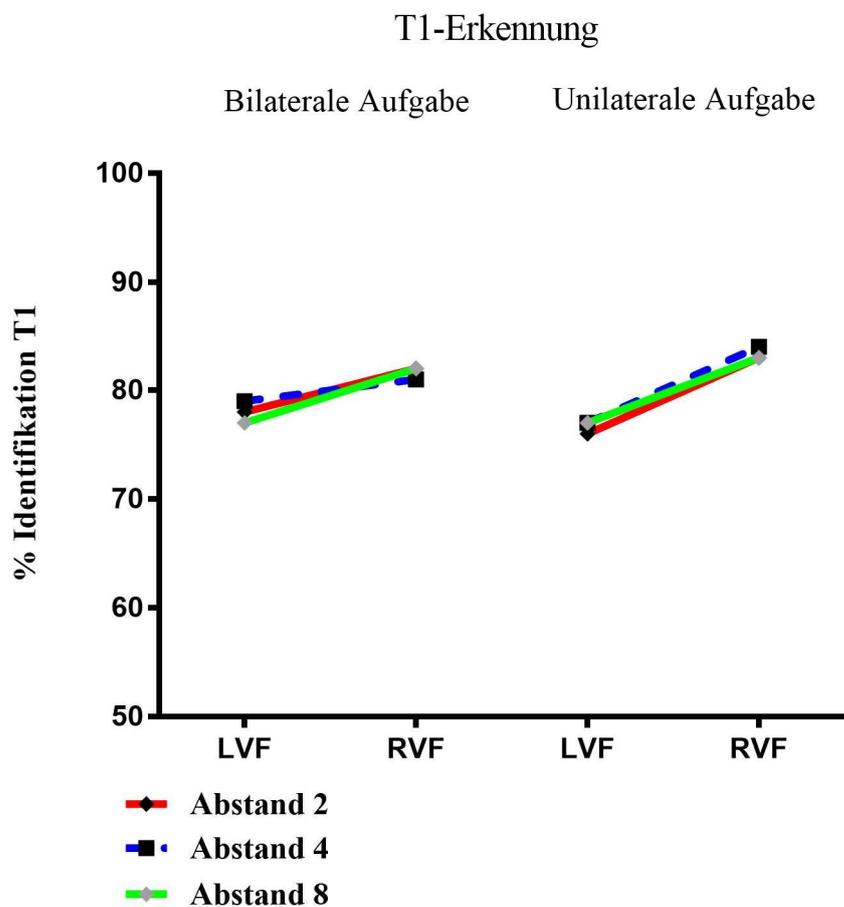


Abbildung 3.1

Identifikationsraten des Zielreizes T1 des ersten Experimentes in Prozent, aufgeschlüsselt nach Abstand der Zielreize T1 und T2 zueinander (T2 folgt nach 2,4 oder 8 Positionen auf T1) und nach bilateraler/unilateraler Aufgabe. Die T1-Identifikationsquoten der bilateralen Aufgabe wurden über die Aufgabenbedingungen Bilateral/T1 und T2 im gleichen visuellen Feld (GS) und Bilateral/T1 und T2 in verschiedenen visuellen Feldern (VS) gemittelt. LVF und RVF bezeichnen das linke und rechte visuelle Gesichtsfeld.

Teilaufgabe	Abstand	VF	Mittelwert (%)	SD (%)
Unilaterale Aufgabe	2	LVF	75,6	17,1
		RVF	83,1	12,1
	4	LVF	76,5	15,7
		RVF	84,2	11,5
	8	LVF	76,9	16,7
		RVF	83,3	13,7
Bilaterale Aufgabe	2	LVF	77,9	14,0
		RVF	81,9	11,4
	4	LVF	78,6	13,5
		RVF	81,1	12,8
	8	LVF	76,8	15,8
		RVF	81,7	14,6

Tabelle 3.1

Mittelwerte und Standardabweichungen der korrekten T1-Identifikation in Prozent, aufgeschlüsselt nach visuellem Feld (LVF/RVF), Teilaufgabe (Unilateral/Bilateral) und Abstand der Zielreize T1 und T2 zueinander (T2 folgt nach 2,4 oder 8 Positionen auf T1).

Der Gesamtmittelwert der korrekten T1-Identifikation aller Versuchsdurchgänge des ersten Experimentes, unabhängig davon, ob T2 auf derselben oder gegensätzlichen Seite wie T1 präsentiert wurde, betrug 79,8 % ($SD = 14,1\%$). Die Identifikationsrate war im rechten visuellen Feld größer als im linken visuellen Feld ($T1\text{-Seite: } F_{1,19} = 11,3, p = 0,003$).

Dieser Unterschied zwischen dem rechten und linken *visuellen Feld* interagierte grenzwertig signifikant mit der *Aufgabe* (unilateral oder bilateral) ($T1\text{-Seite} \times \text{Aufgabe: } F_{1,19} = 3,8, p = 0,065$). Er war in der unilateralen Aufgabe (LVF: 76% vs. RVF: 83%, $F_{1,19} = 13,2, p = 0,002$) etwas größer als in der bilateralen Aufgabe (LVF: 78% vs. RVF: 81%, $F_{1,19} = 4,9, p = 0,040$).

Andere Effekte waren nicht signifikant.

3.1.1.2 Identifikation von T2

Im Folgenden sind die Mittelwerte der Identifikationsraten von T2 in Abb. 3.2 dargestellt und mit den Standardabweichungen in Tab. 3.2 aufgelistet.

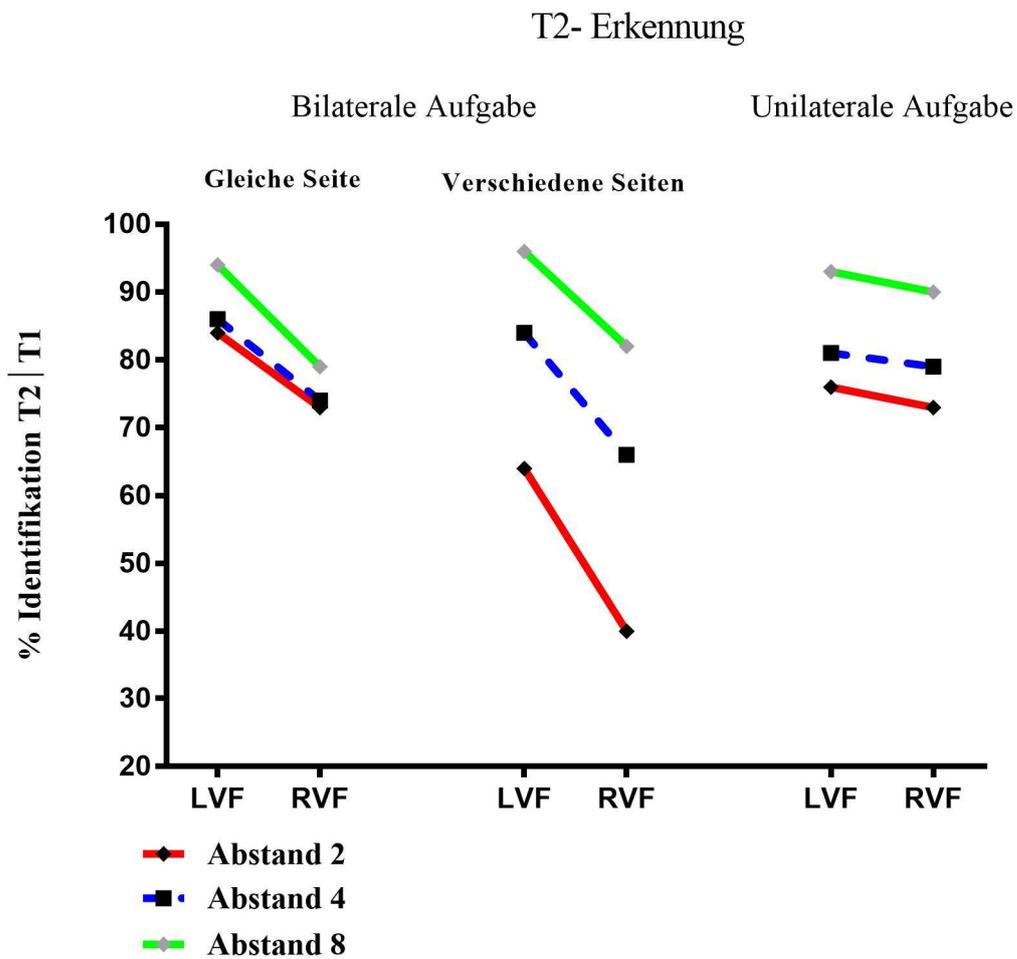


Abbildung 3.2

Identifikationsraten des Zielreizes T2 des ersten Experimentes in Prozent, aufgeschlüsselt nach Abstand der Zielreize T1 und T2 zueinander (T2 folgt nach 2,4 oder 8 Positionen auf T1) und nach bilateraler (T1 und T2 im gleichen visuellen Feld (GS)/T1 und T2 in verschiedenen visuellen Feldern (VS)) /unilateraler Aufgabe. LVF und RVF bezeichnen das linke und rechte visuelle Gesichtsfeld.

Teilaufgabe	Abstand	VF	Mittelwert (%)	SD (%)
Unilaterale Aufgabe	2	LVF	76,3	13,6
		RVF	72,8	15,0
	4	LVF	81,1	13,5
		RVF	78,7	13,4
	8	LVF	92,9	8,4
		RVF	89,9	7,9
Bilaterale Aufgabe, T1 und T2 gleiche Seite (GS)	2	LVF	83,9	12,7
		RVF	72,8	15,5
	4	LVF	83,7	14,8
		RVF	73,1	16,4
	8	LVF	94,0	7,2
		RVF	79,0	21,1
Bilaterale Aufgabe, T1 und T2 verschiedene Seiten (VS)	2	LVF	63,9	20,3
		RVF	40,5	20,9
	4	LVF	83,8	12,3
		RVF	65,9	23,1
	8	LVF	95,9	6,3
		RVF	82,4	14,7

Tabelle 3.2

Mittelwerte und Standardabweichungen der korrekten T2-Identifikation in Prozent, aufgeschlüsselt nach visuellem Feld (LVF/RVF), Teilaufgabe (Unilateral, Bilateral/T1 und T2 im gleichen visuellen Feld (GS), Bilateral/T1 und T2 in verschiedenen visuellen Feldern (VS)) und Abstand der Zielreize T1 und T2 zueinander (T2 folgt nach 2,4 oder 8 Positionen auf T1).

Der Gesamtmittelwert der korrekt identifizierten T2-Zielreizangaben betrug 79,3 % ($SD = 12,8\%$). Diese Quote wurde durch den Faktor *Abstand* sowie durch den Faktor *visuelles Feld* signifikant beeinflusst (*Abstand*: $F_{2,38} = 60,9$, $p < 0,001$, *T2-Seite*: $F_{1,19} = 34,2$, $p < 0,001$). Die Identifikationsrate erhöhte sich von Abstand 2 zu Abstand 8 und T2 wurde häufiger im linken als im rechten visuellen Feld erkannt. Wichtig war dabei, dass diese Effekte von der jeweiligen Teilaufgabe abhängig waren: Der Effekt des Faktors *Aufgabe* war signifikant ($F_{2,38} = 17,3$, $p < 0,001$), ebenso wie die Interaktion

zwischen den Faktoren *Abstand* und *Aufgabe* (*Abstand x Aufgabe*: $F_{4,76} = 27,4, p < 0,001$) und *visuellem Feld* und *Aufgabe* (*T2-Seite x Aufgabe*: $F_{2,38} = 10,5, p < 0,001$):

Haupteffekte von *Aufgabe*: Der paarweise Vergleich der drei möglichen Aufgabenzustände (Unilateral, Bilateral/GS, Bilateral/VS) zeigte, dass die T2-Identifikationsquote in der bilateralen Aufgabenform, in der T1 und T2 in verschiedenen visuellen Feldern erschienen (Bilateral/VS), insgesamt am geringsten war: Die Identifikationsquote der Aufgabe Bilateral/VS war geringer als die der unilateralen Aufgabe (72% vs. 82%, $F_{1,19} = 26,4, p < 0,001$) und auch signifikant geringer als die Identifikationsrate der Aufgabe Bilateral/GS (72 % vs. 81%, $F_{1,19} = 23,4, p < 0,001$). Der Vergleich der T2-Identifikationsquoten der unilateralen Aufgabe mit der der Aufgabe Bilateral/GS erbrachte keinen signifikanten Unterschied ($F < 1,0, n.s.$).

Abstand x Aufgabe: Die Auflösung der Effekte vom Faktor *Aufgabe* auf jeder einzelnen Stufe von *Abstand* (2,4,8) zeigte den größten Effekt des Faktor *Aufgabe* bei Abstand 2. Ebenfalls signifikant stellte sich der Effekt von *Aufgabe* bei Abstand 8 dar (*Effekt Aufgabe für Abstand 2*: $F_{2,38} = 44,2, p < 0,001$; *Effekt Aufgabe für Abstand 8*: $F_{2,38} = 3,7, p = 0,050$). Folglich unterscheiden sich die drei Aufgabenzustände am signifikantesten bei Abstand 2. Paarweise Vergleiche für Abstand 2 bestätigten, dass dies am Unterschied von Bilateral/VS zu den beiden anderen Aufgaben lag: Bilateral/VS vs. Unilateral: $F_{1,19} = 66,1, p < 0,001$; Unilateral vs. Bilateral/GS: $F_{1,19} = 1,8, n.s.$ und Bilateral/VS vs. Bilateral/GS: $F_{1,19} = 58,8, p < 0,001$.

Der Effekt des Faktors *Abstand* war am größten in der Aufgabe Bilateral/VS (*Abstand x Aufgabe*: $F_{2,38} = 77,3, p < 0,001$). Die Interaktionen von *Abstand* und *Aufgabe* in paarweisen Vergleichen zwischen den drei Aufgabenzuständen erbrachten folgende Ergebnisse: Bilateral/VS vs. Unilateral: $F_{2,38} = 33,8, p = 0,02$; Unilateral vs. Bilateral/GS: $F_{2,38} = 4,6, p = 0,02$ und Bilateral/VS vs. Bilateral/GS: $F_{2,38} = 39,8, p = 0,02$.

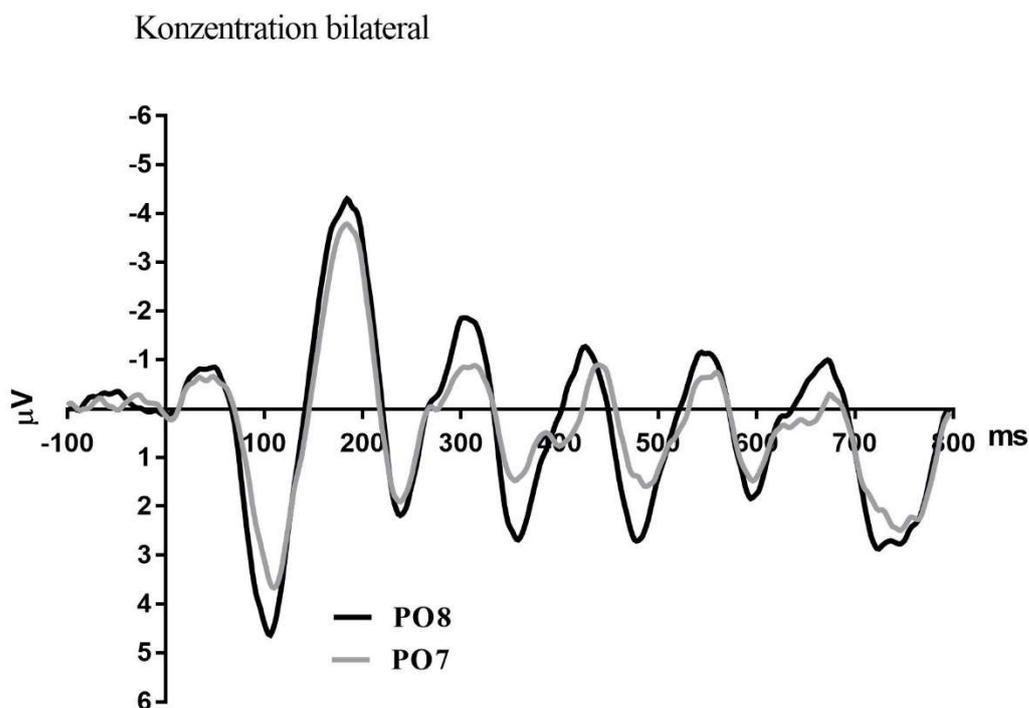
Visuelles Feld x Aufgabe: In der unilateralen Aufgabe war kein signifikanter Effekt des visuellen Feldes zu beobachten ($F = 1,1, n.s.$). Eine höhere Identifikationsquote von T2 im linken visuellen Feld zeigte sich sowohl in der Aufgabe Bilateral/GS als auch in der Aufgabe Bilateral/VS: LVF vs. RVF in Bilateral/GS = 87% vs. 75%, $F_{1,19} = 25,3, p < 0,001$ und LVF vs. RVF in Bilateral/VS = 81% vs. 63%, $F_{1,19} = 39,9, p < 0,001$. Ein paarweiser Vergleich zwischen den drei Aufgabenzuständen (Unilateral, Bilateral/GS, Bilateral/VS) in Bezug auf den Effekt *visuelles Feld x Aufgabe* zeigte, dass der Vorteil des linken visuellen Feldes für die Identifikationsrate des Zielreizes T2 in der Aufgabe Bilateral/VS geringfügig

größer war als in der Aufgabe Bilateral/GS ($F_{1,19} = 3,9, p = 0,06$). Darüber hinaus war dieser Vorteil sowohl in der Aufgabe Bilateral/VS, als auch in der Aufgabe Bilateral/GS deutlich größer als in der unilateralen Aufgabe (Bilateral/GS vs. Unilateral: $F_{1,19} = 6,8, p = 0,017$ und Bilateral/VS vs. Unilateral: $F_{1,19} = 19,7, p < 0,001$).

Andere Interaktionen erreichten kein Signifikanzniveau ($F \leq 1,6, n.s.$).

3.1.2 EEG-Komponenten: Visuell-evozierte-Potentiale

Im Folgenden sind die Gesamtmittelwerte der visuell evozierten Potentiale in Bezug auf die einzelnen Aufgabenbedingungen und jeweilige Hemisphäre als Spannungs-Zeit-Diagramme und Topographien in Abb. 3.3-3.6 dargestellt.



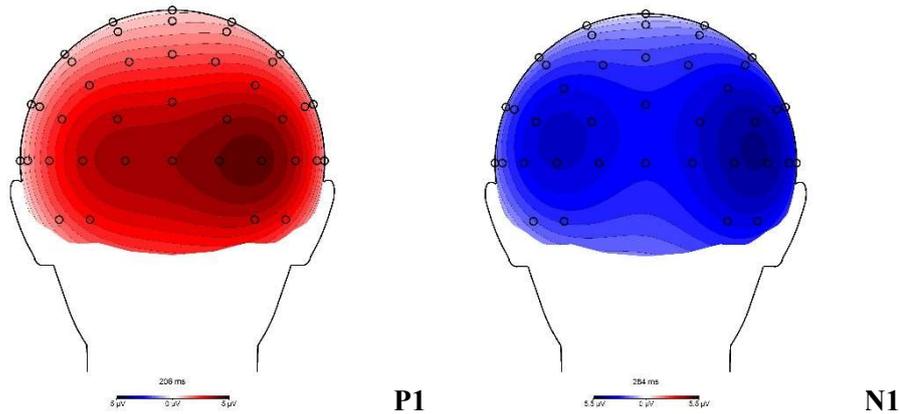


Abbildung 3.3 Visuell-evozierte-Potentiale, die während der ersten 800 ms der Durchgänge durch die beiden lateralisierten RSVP-Buchstabenströme hervorgerufen wurden: Konzentration bilateral. Negative Spannungen zeigen nach oben. Die grauen und schwarzen Spannungskurven sind Gesamtmittelwerte aller Probanden, die von PO7 (linke Hemisphäre: LH) bzw. PO8 (rechte Hemisphäre: RH) abgeleitet wurden, beginnend 100 ms vor dem ersten Paar der Stimulusreihe. Der Zeitpunkt Null markiert den Beginn des ersten Stimuluspaares. Nur Potentiale, die von den ersten fünf Paaren hervorgerufen wurden, wurden analysiert (da das sechste Paar bereits T1 einschließen konnte). Die Kopfkarten zeigen Topographien der P1 (rot)- und N1 (blau)-Gipfel, die durch das erste Paar der Reizserie hervorgerufen wurden (Konzentration bilateral). Die Kopfansicht ist von hinten. Die Karten sind min-max skaliert, mit beiden Enden der Skala in dunkelrot bzw. dunkelblau und der Nullspannung in weiß.

Konzentration auf das LVF

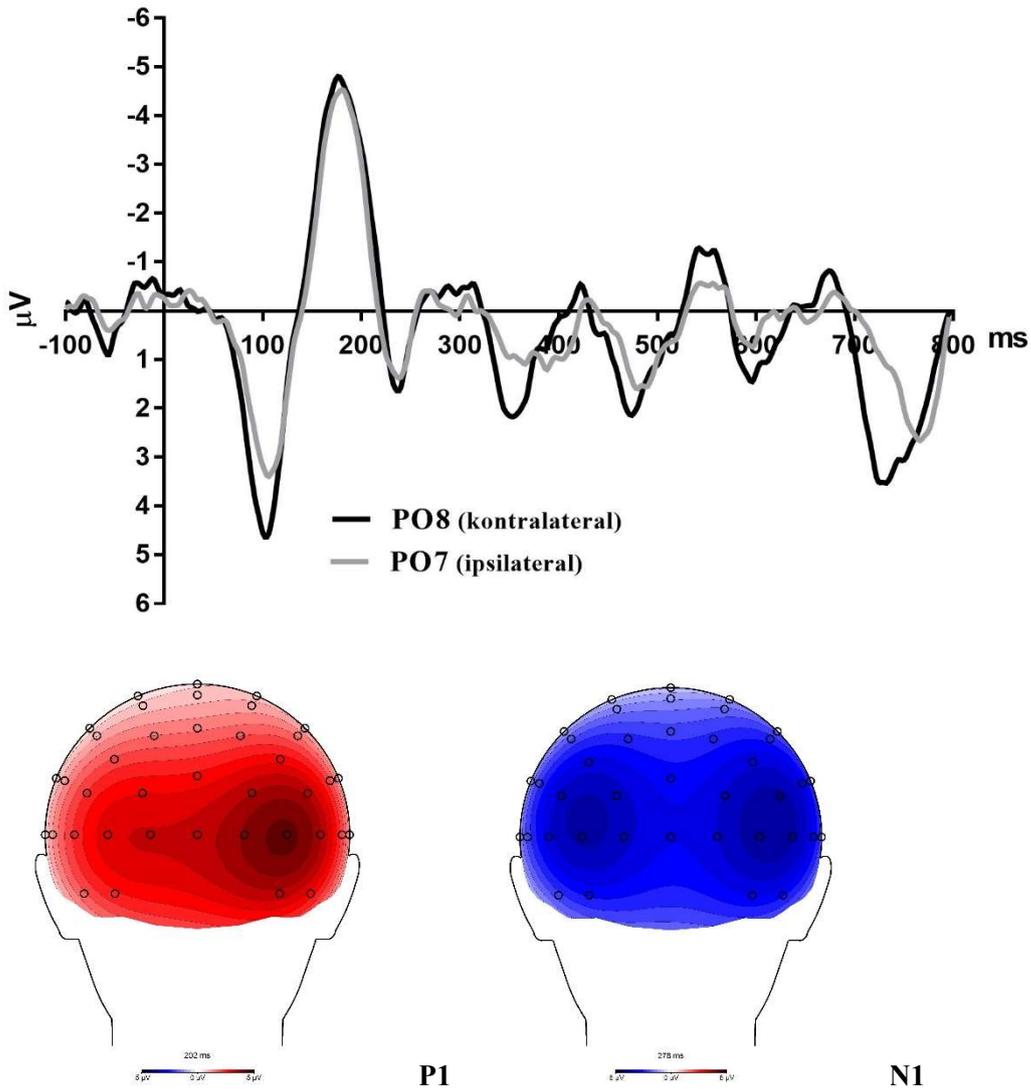


Abbildung 3.4 Visuell-evozierte-Potentiale, die während der ersten 800 ms der Durchgänge durch die beiden lateralisierten RSVP-Buchstabenströme hervorgerufen wurden: Konzentration auf das linke visuelle Feld (LVF). Negative Spannungen zeigen nach oben. Die grauen und schwarzen Spannungskurven sind Gesamtmittelwerte aller Probanden, die von PO7 (linke Hemisphäre: LH) bzw. PO8 (rechte Hemisphäre: RH) abgeleitet wurden, beginnend 100 ms vor dem ersten Paar der Stimulusreihe. Der Zeitpunkt Null markiert den Beginn des ersten Stimuluspaares. Nur Potentiale, die von den ersten fünf Paaren hervorgerufen wurden, wurden analysiert (da das sechste Paar bereits T1 einschließen konnte). Die Kopfkarten zeigen Topographien der P1 (rot)- und N1 (blau)-Gipfel, die durch das erste Paar der Reizserie hervorgerufen wurden (Konzentration auf das LVF). Die Kopfansicht ist von hinten. Die Karten sind min-max skaliert, mit beiden Enden der Skala in dunkelrot bzw. dunkelblau und der Nullspannung in weiß.

Konzentration auf das RVF

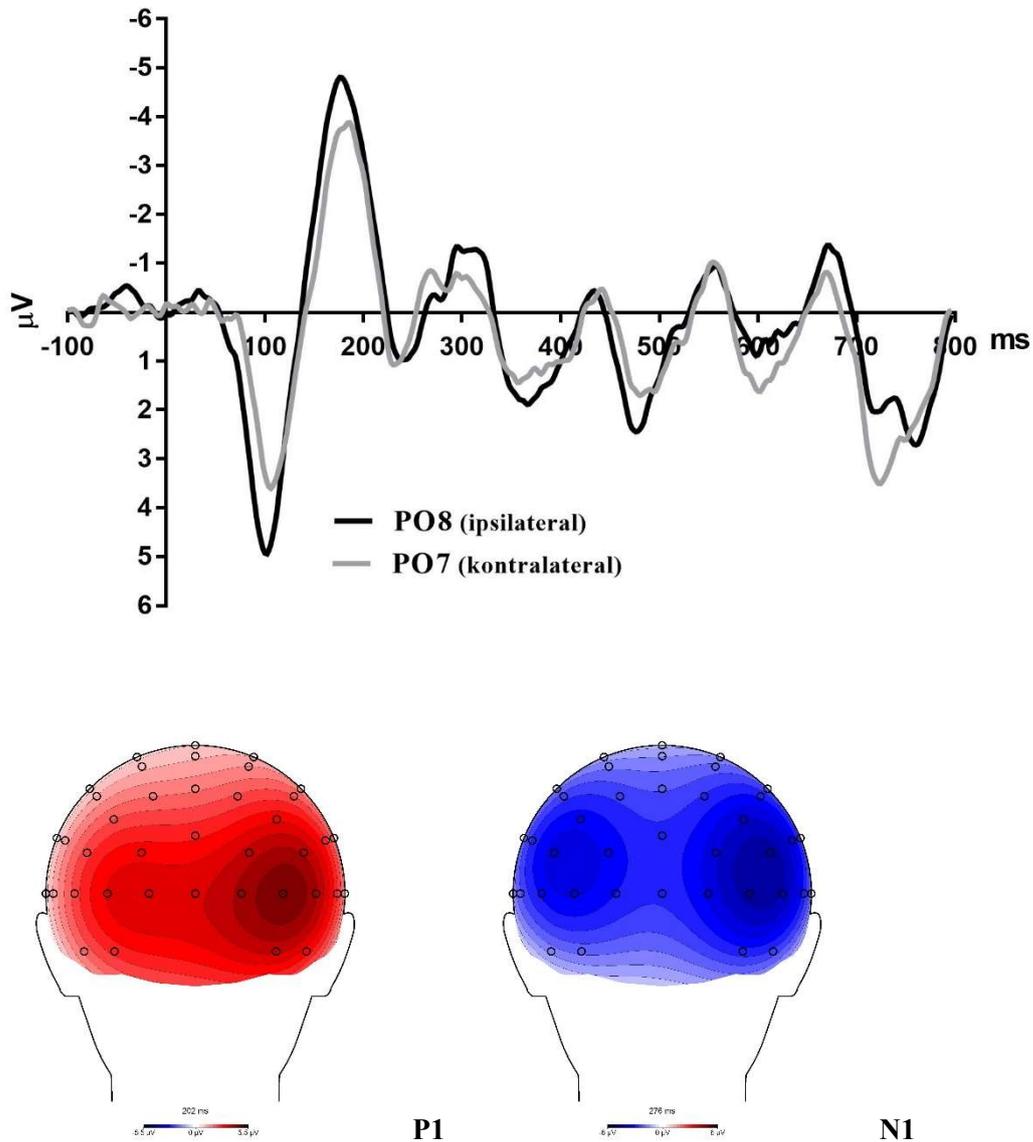
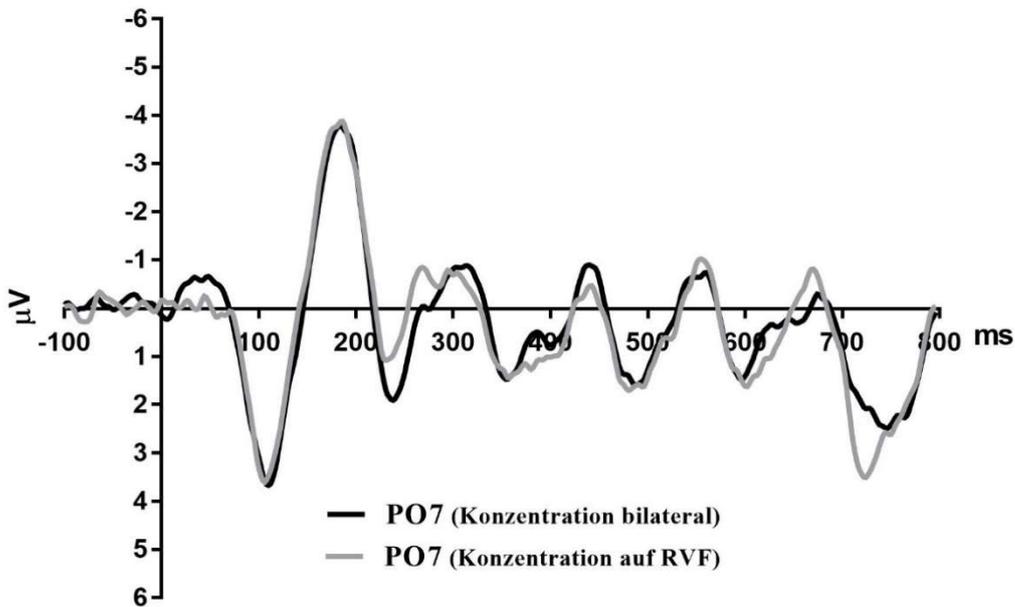


Abbildung 3.5 Visuell-evozierte-Potentiale, die während der ersten 800 ms der Durchgänge durch die beiden lateralisierten RSVP-Buchstabenströme hervorgerufen wurden: Konzentration auf das rechte visuelle Feld (RVF). Negative Spannungen zeigen nach oben. Die grauen und schwarzen Spannungskurven sind Gesamtmittelwerte aller Probanden, die von PO7 (linke Hemisphäre: LH) bzw. PO8 (rechte Hemisphäre: RH) abgeleitet wurden, beginnend 100 ms vor dem ersten Paar der Stimulusreihe. Der Zeitpunkt Null markiert den Beginn des ersten Stimuluspaares. Nur Potentiale, die von den ersten fünf Paaren hervorgerufen wurden, wurden analysiert (da das sechste Paar bereits T1 einschließen konnte). Die Kopfkarten zeigen Topographien der P1 (rot)- und N1 (blau)-Gipfel, die durch das erste Paar der Reizserie hervorgerufen wurden (Konzentration auf das RVF). Die Kopfansicht ist von hinten. Die Karten sind min-max skaliert, mit beiden Enden der Skala in dunkelrot bzw. dunkelblau und der Nullspannung in weiß.

Linke Hemisphäre



Rechte Hemisphäre

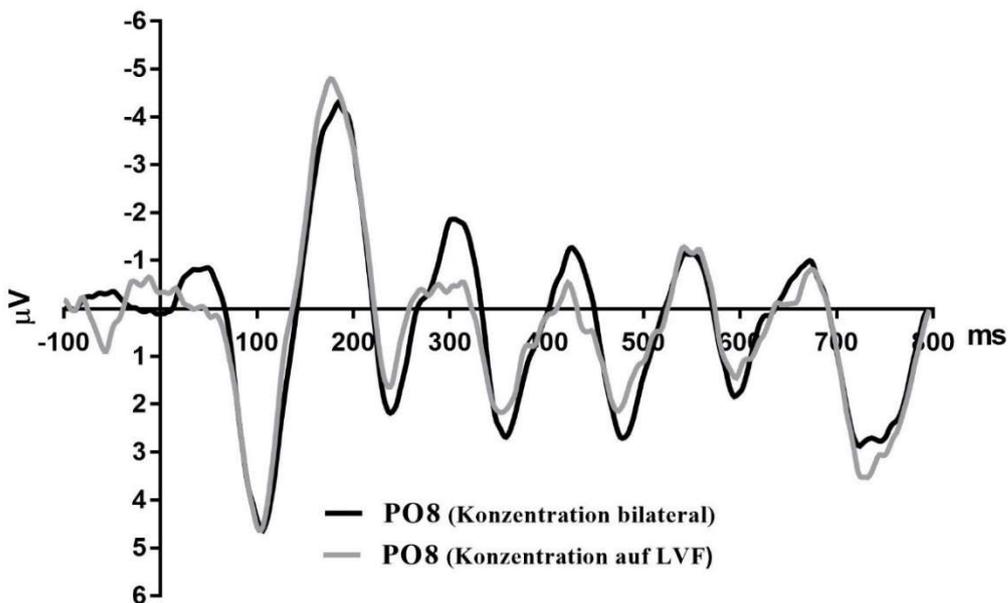


Abbildung 3.6 Diese Abbildung zeigt die gleichen Spannungskurven wie die Abbildungen 3.3-3.5, aber in einer Weise die es ermöglicht die beiden Spannungskurven einer Hemisphäre je nach Aufgabenbedingung miteinander zu vergleichen: PO7/Konzentration bilateral vs. PO7/Konzentration auf das rechte visuelle Feld (obere Grafik); PO8/Konzentration bilateral vs. PO8/Konzentration auf das linke visuelle Feld (untere Grafik). Negative Spannungen zeigen nach oben. Die grauen und schwarzen Spannungskurven sind Gesamtmittelwerte aller Probanden, die von PO7 (linke Hemisphäre: LH) bzw. PO8 (rechte Hemisphäre: RH) abgeleitet wurden, beginnend 100 ms vor dem Auftauchen des ersten Paares der Stimulusreihe. Der Zeitpunkt Null markiert den Beginn des ersten Stimuluspaares.

Die Latenzdifferenzen der Spannungskurven der visuell evozierten Potentiale zwischen der linken (PO7) und der rechten (PO8) Hemisphäre einer jeden Bedingung wurden durch t-Tests analysiert. In der Aufgabenbedingung LVF ergab sich im Mittel ein in der rechten Hemisphäre (PO8) um 4 ms früher evoziertes Potential im Vergleich zur linken Hemisphäre (PO7). Dieser Effekt erreichte jedoch kein Signifikanzniveau (*LVF*: $t_{19} = 1,6$, $p = 0,1$). In der Aufgabenbedingung RVF zeigte sich ein mittlerer Latenzunterschied von 2 ms zugunsten der rechten Hemisphäre (PO8). Auch dieser Effekt war nicht signifikant (*RVF*: $t_{19} = 1,2$, $p = 0,2$). Darüber hinaus war ebenfalls die Latenzdifferenz innerhalb der bilateralen Aufgabenbedingung nicht signifikant (*Bilateral*: $t_{19} = 1,8$, $p = 0,09$), obwohl ein mittlerer Latenzunterschied von 2,5 ms zugunsten der rechten Hemisphäre (PO8) bestand.

Durch eine ANOVA wurde dann geprüft, ob sich die Latenzdifferenzen der drei Aufgabenbedingungen (*LVF*, *RVF*, *Bilateral*) in ihrer Gesamtheit signifikant voneinander unterscheiden, was nicht der Fall war ($F_{1,19} = 0,78$, $p = 0,404$) und ob der Gesamtmittelwert über alle drei Aufgabenbedingungen statistische Signifikanz erlangt. Aber auch durch eine größere Anzahl an Latenzdifferenzen ließ sich keine statistische Signifikanz erreichen ($F_{1,19} = 2,96$, $p = 0,101$).

In der rechten Hemisphäre wurden die visuell evozierten Potentiale im Vergleich zur bilateralen Aufgabenbedingung durchschnittlich 3 ms früher ausgelöst, wenn die Aufmerksamkeit unilateral auf das linke visuelle Feld gerichtet worden war (*RH*: $t_{19} = -3,8$, $p = 0,001$). Ähnlich traten in der linken Hemisphäre die Potentiale im Vergleich zur bilateralen Aufgabenbedingung um 2,7 ms schneller auf, wenn die Aufmerksamkeit unilateral auf das rechte visuelle Feld gerichtet worden war (*LH*: $t_{19} = -2,7$, $p = 0,014$). Diese Effekte unterschieden sich nicht: Die einfaktorielle ANOVA mit dem Faktor *Hemisphäre* (*RH* vs. *LH*) zeigte keinen signifikanten Effekt dieses Faktors ($F_{1,19} = 0,1$, $p = 0,8$).

3.2. Experiment 2

3.2.1 Verhaltensdaten

3.2.1.1. Identifikation von T1

Im Folgenden sind die Mittelwerte der Identifikationsraten von T1 und T2 in Abb. 3.7 dargestellt und mit den Standardabweichungen in Tab. 3.3 und 3.4 aufgelistet.

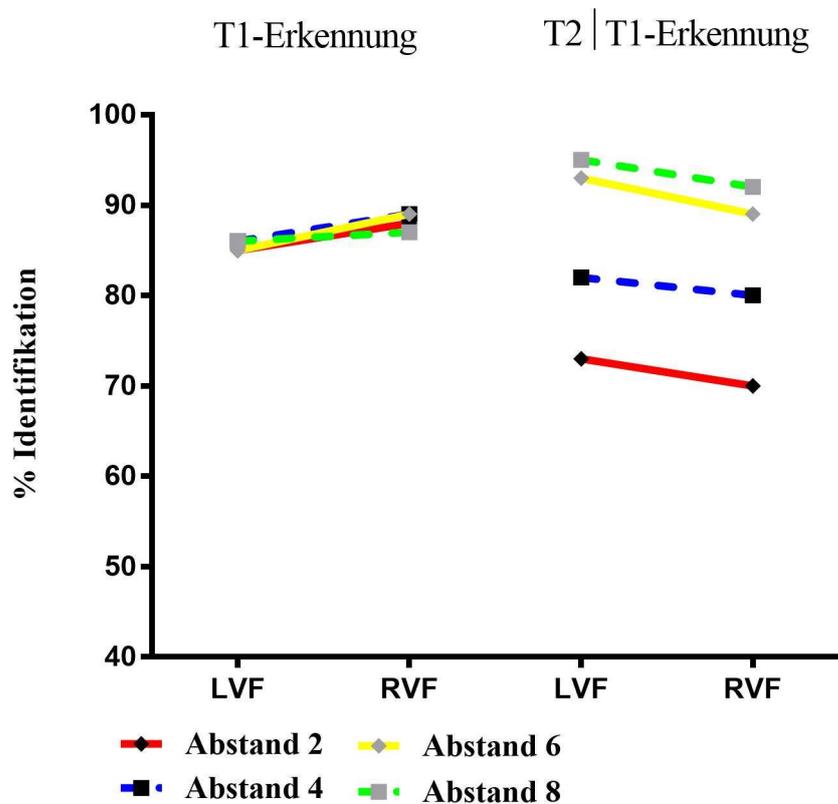


Abbildung 3.7

Identifikationsraten der Zielreize T1 und T2 (nur aus Durchgängen, in denen auch T1 korrekt erkannt wurde) des zweiten Experimentes in Prozent, aufgeschlüsselt nach Abstand der Zielreize T1 und T2 zueinander (2/4/6/8). LVF und RVF bezeichnen das linke und rechte visuelle Gesichtsfeld.

Abstand	VF	Mittelwert (%)	SD (%)
2	LVF	85,1	13,0
	RVF	87,7	13,0
4	LVF	84,8	15,0
	RVF	88,5	12,5
6	LVF	86,0	13,6
	RVF	89,0	11,4
8	LVF	85,6	13,8
	RVF	87,1	14,4

Tabelle 3.3

Mittelwerte und Standardabweichungen der korrekten T1-Identifikation in Prozent, aufgeschlüsselt nach visuellem Feld und Abstand der Zielreize T1 und T2 zueinander (2/4/6/8).

Der Gesamtmittelwert der korrekten T1-Identifikation aller Versuchsdurchgänge betrug 86,7 % ($SD = 13,4\%$). Die Identifikationsrate von T1 war im rechten visuellen Feld um 3 % höher als im linken visuellen Feld ($T1\text{-Seite: } F_{1,19} = 6,6, p = 0,02$).

Der Abstand des nachfolgenden Zielreizes T2 übte keinen Einfluss auf die T1-Identifikationsrate ($Abstand: F < 1,0, n.s.$) aus, ebenso wie keine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren *Abstand* und *visuellem Feld* bestand ($Abstand \times T1\text{-Seite: } F < 1,0, n.s.$).

3.2.1.2 Identifikation von T2

Abstand	VF	Mittelwert (%)	SD (%)
2	LVF	72,9	16,9
	RVF	70,2	23,5
4	LVF	82,0	15,9
	RVF	80,3	21,5
6	LVF	93,5	8,6
	RVF	89,0	11,0
8	LVF	94,7	8,9
	RVF	92,0	9,3

Tabelle 3.4

Mittelwerte und Standardabweichungen der korrekten T2-Identifikation in Prozent, aufgeschlüsselt nach visuellem Feld und Abstand der Zielreize T1 und T2 zueinander (2/4/6/8).

Der Gesamtmittelwert der korrekten T2-Identifikation (T2/ T1) betrug 84,3 % ($SD= 14,4\%$).

Die T2-Identifikationsquote wurde durch den Faktor *Abstand* signifikant beeinflusst (*Abstand*: $F_{3,57} = 25,8, p < 0,001$). Dem typischen Effekt des Attentional Blinks folgend, wurde der Zielreiz T2 umso häufiger erkannt, je größer der zeitliche Abstand zu T1 war, mit dem er präsentiert wurde (*Abstand 2* = 71,5% < *Abstand 4* = 81,1% < *Abstand 6* = 91,2% < *Abstand 8* = 93,4 %, *linearer Trend*: $F_{1,19} = 41,4, p < 0,001$).

Die T2-Identifikationsquoten zum Zeitpunkt Abstand 8 wurden als Vergleichswerte für die Bestimmung und Darstellung des Attentional Blink-Effektes benutzt, da sie selbst nicht diesem Effekt unterliegen. Folgte der Zielreiz T2 in kürzeren zeitlichen Abständen auf den Zielreiz T1 (Abstand 2, 4, 6), so waren seine Identifikationsraten signifikant geringer gegenüber dem Vergleichswert Abstand 8 (*Abstand 2 vs. Abstand 8*: $F_{1,19} = 38,8, p < 0,001$; *Abstand 4 vs. Abstand 8*: $F_{1,19} = 19,2, p < 0,001$; *Abstand 6 vs. Abstand 8*: $F_{1,19} = 3,9, p = 0,06$).

T2 wurde insgesamt im linken visuellen Feld häufiger korrekt identifiziert als im rechten visuellen Feld (*LVF*: 85,7%; *RVF*: 82,9%). Dieser Effekt erwies sich jedoch als nicht signifikant (*T2-Seite*: $F_{1,19} = 3,5, p = 0,20$).

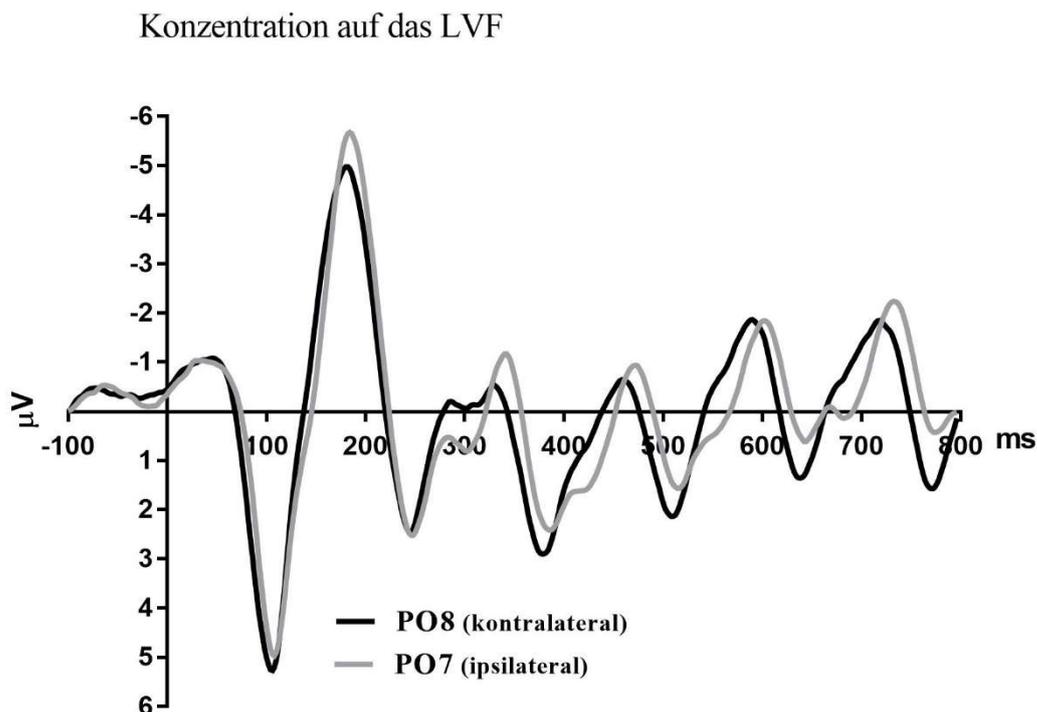
Das eindrucksvollste Ergebnis war, dass keine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren *Abstand* und *visuellem Feld* bestand (*Abstand x T2-Seite*: $F < 1,0$, *n.s.*). Dies bedeutet, dass die zeitliche Variation der Abstände, mit denen T2 auf T1 folgte, keinen Einfluss auf die Asymmetrie der visuellen Felder in der T2-Erkennung hatte.

Die Ergebnisse der T2-Identifikationen sind kohärent zu den Ergebnissen der unilateralen Aufgabe des ersten Experimentes.

Da sich in beiden Experimenten nicht-signifikante Trends der Überlegenheit des linken visuellen Feldes in der T2-Erkennung zeigten, war es möglich, dass diese Effekte durch eine größere Fallzahl das statistische Signifikanzlevel erreichen könnten. Eine Omnibus-ANOVA mit den Daten beider Experimente (unter Ausschluss von Lag 6) zeigte jedoch auch für diesen Fall weder einen signifikanten Effekt des visuellen Feldes (*T2-Seite*: $F_{1,39} = 2,6$, $p = 0,11$), noch eine Interaktion zwischen den Faktoren *Abstand* und *visuellem Feld* (*Abstand x T2-Seite*: $F < 1,0$, *n.s.*).

3.2.2 EEG-Komponenten: Visuell-evozierte-Potentiale

Im Folgenden sind die Gesamtmittelwerte der visuell evozierten Potentiale in Bezug auf die einzelnen Aufgabenbedingungen und auf die fixierten Gesichtsfelder als Spannungs-Zeit-Diagramme und Topographien in Abb. 3.8-3.10 dargestellt.



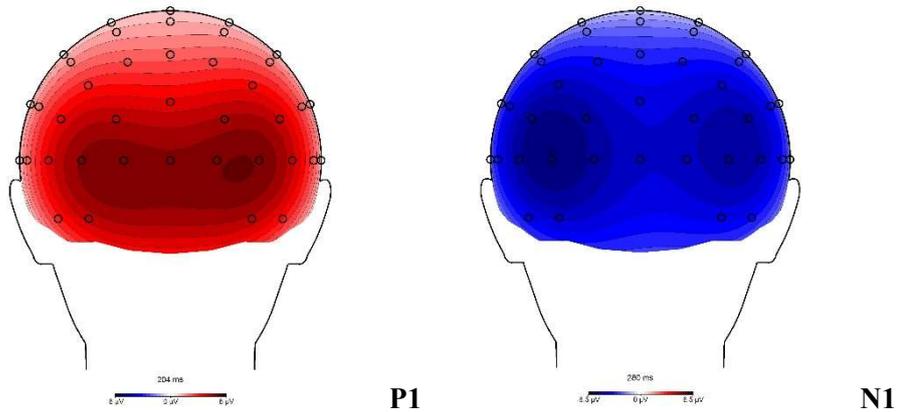


Abbildung 3.8 Visuell-evozierte-Potentiale, die während der ersten 800 ms der Durchgänge durch die beiden lateralisierten RSVP-Buchstabenströme hervorgerufen wurden: Konzentration auf das linke visuelle Feld (LVF). Negative Spannungen zeigen nach oben. Die grauen und schwarzen Spannungskurven sind Gesamtmittelwerte aller Probanden, die von PO7 (linke Hemisphäre: LH) bzw. PO8 (rechte Hemisphäre: RH) abgeleitet wurden, beginnend 100 ms vor dem ersten Paar der Stimulusreihe. Der Zeitpunkt Null markiert den Beginn des ersten Stimuluspaares. Nur Potentiale, die von den ersten fünf Paaren hervorgerufen wurden, wurden analysiert (da das sechste Paar bereits T1 einschließen konnte). Die Kopfkarten zeigen Topographien der P1 (rot)- und N1 (blau)-Gipfel, die durch das erste Paar der Reizserie hervorgerufen wurden (Konzentration auf das LVF). Die Kopfansicht ist von hinten. Die Karten sind min-max skaliert, mit beiden Enden der Skala in dunkelrot bzw. dunkelblau und der Nullspannung in weiß.

Konzentration auf das RVF

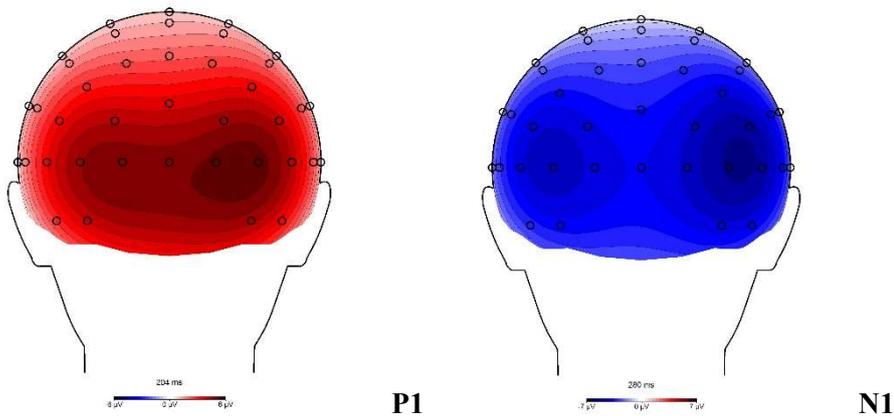
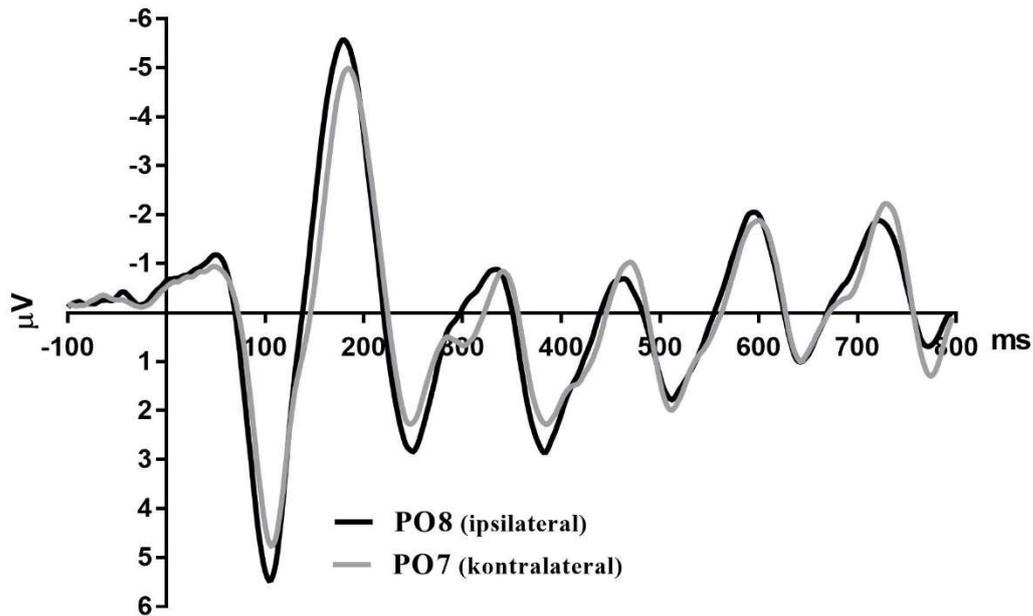
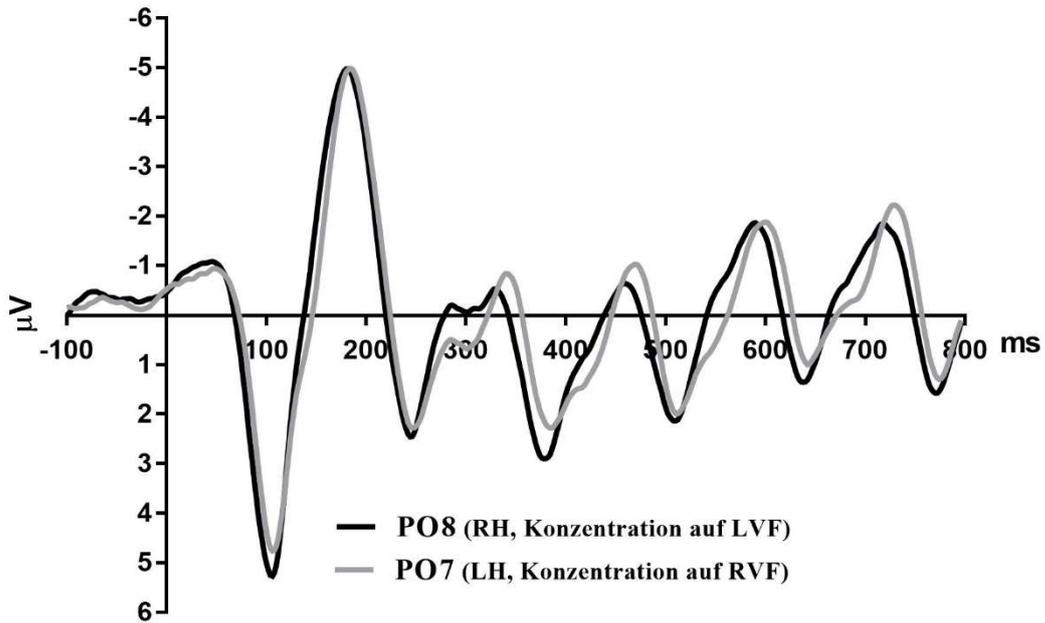


Abbildung 3.9 Visuell-evozierte-Potentiale, die während der ersten 800 ms der Durchgänge durch die beiden lateralisierten RSVP-Buchstabenströme hervorgerufen wurden: Konzentration auf das rechte visuelle Feld (RVF). Negative Spannungen zeigen nach oben. Die grauen und schwarzen Spannungskurven sind Gesamtmittelwerte aller Probanden, die von PO7 (linke Hemisphäre: LH) bzw. PO8 (rechte Hemisphäre: RH) abgeleitet wurden, beginnend 100 ms vor dem Auftauchen des ersten Paares der Stimulusreihe. Der Zeitpunkt Null markiert den Beginn des ersten Stimuluspaares. Nur Potentiale, die von den ersten fünf Paaren hervorgerufen wurden, wurden analysiert (da das sechste Paar bereits T1 einschließen konnte). Die Kopfkarten zeigen Topographien der P1 (rot)- und N1 (blau)-Gipfel, die durch das erste Paar der Reizserie hervorgerufen wurden (Konzentration auf das RVF). Die Kopfansicht ist von hinten. Die Karten sind min-max skaliert, mit beiden Enden der Skala in dunkelrot bzw. dunkelblau und der Nullspannung in weiß.

Kontralaterale Seiten



Ipsilaterale Seiten

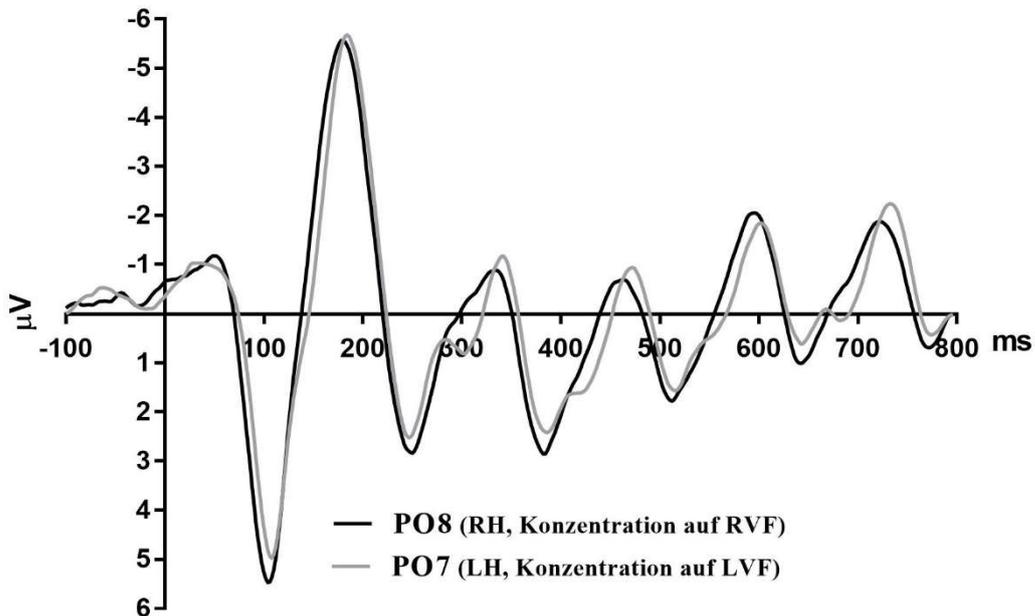


Abbildung 3.10 Diese Abbildung zeigt die gleichen Spannungskurven wie die Abbildungen 3.8-3.9, aber in einer Weise die es ermöglicht die beiden Spannungskurven kontralateral zum fixierten Gesichtsfeld, bzw. die beiden Spannungskurven ipsilateral zum fixierten Gesichtsfeld miteinander zu vergleichen: RH/Konzentration auf das LVF vs. LH/Konzentration auf das RVF (obere Grafik); RH/Konzentration auf das RVF vs. LH/Konzentration auf das LVF (untere Grafik). Negative Spannungen zeigen nach oben. Die grauen und schwarzen Spannungskurven sind Gesamtmittelwerte aller Probanden, die von PO7 (linke Hemisphäre: LH) bzw. PO8 (rechte Hemisphäre: RH) abgeleitet wurden, beginnend 100 ms vor dem Auftauchen des ersten Paares der Stimulusreihe. Der Zeitpunkt Null markiert den Beginn des ersten Stimuluspaares.

3.2.2.1 Latenzen der Visuell-evozierten-Potentiale

3.2.2.1.1 P1-Latenzen

Die Varianzanalyse zeigte einen signifikanten Haupteffekt der *Reizposition* (erster bis fünfter Distraktorreiz) auf die Latenzen der von ihnen ausgelösten positiven Potentialgipfel ($F_{4,76} = 6,6, p = 0,002$). Dabei werden die Potentialgipfel, welche auf die 2. bis 5. Reizposition folgen, um ungefähr 20 ms später ausgelöst als der Potentialgipfel nach der ersten Reizposition. Außerdem zeigten sich signifikante Haupteffekt der Faktoren *Hemisphäre* ($F_{1,19} = 8,8, p = 0,008$) und *Stimulusstrom* ($F_{1,19} = 16,6, p = 0,001$). Der P1-Gipfel konnte in der rechten Hemisphäre im Durchschnitt 6 ms früher als in der linken Hemisphäre abgeleitet werden und ließ sich 5 ms früher durch den kontralateralen Reizstrom als durch den ipsilateralen Reizstrom auslösen. Da keine Interaktionen signifikant waren ($F \leq 1,6$), war die grundlegende Überlegenheit der rechten Hemisphäre in der kürzeren P1-Latenz unabhängig davon, auf welches visuelle Feld die Aufmerksamkeit gerichtet wurde: Die Effekte der Faktoren *Hemisphäre* und *Stimulusstrom* addierten sich, wenn die Aufmerksamkeit auf das linke Gesichtsfeld fokussiert wurde. Dabei waren die Gipfellatenzen in der rechten Hemisphäre durchschnittlich um 11 ms kürzer als in der linken Hemisphäre ($F_{1,19} = 15,7, p = 0,001$). War umgekehrt die Aufmerksamkeit auf das rechte Gesichtsfeld fokussiert, addierten sich diese Effekte zu Null. Dies ergab einen nicht signifikanten Unterschied von 1 ms zwischen der rechten Hemisphäre und der linken Hemisphäre.

3.2.2.1.2 N1-Latenzen

Wie bei der P1-Latenzanalyse zeigte die ANOVA einen signifikanten Haupteffekt der *Reizposition* auf die N1-Latenzen, d.h. die Latenzen der negativen Potentialgipfel ($F_{4,76} = 8,6, p = 0,001$). Dabei werden die Potentialgipfel, welche auf die 2. bis 5. Reizposition folgen, um ungefähr 20 ms später ausgelöst als der Potentialgipfel nach der ersten Reizposition. Auch zeigten sich abermals signifikante Haupteffekt der Faktoren *Hemisphäre* ($F_{1,19} = 15,1, p = 0,001$) und *Stimulusstrom* ($F_{1,19} = 6,0, p = 0,024$). Der negative Gipfel N1 konnte in der rechten Hemisphäre 10 ms früher als in der linken Hemisphäre abgeleitet werden. Außerdem ließ sich N1 4 ms früher durch den kontralateralen

Reizstrom als durch den ipsilateralen Reizstrom auslösen. Keinerlei Interaktionen waren signifikant ($F \leq 2,3$). Erneut zeigten sich die kürzeren Latenzen in der rechten Hemisphäre unabhängig von der gerichteten Aufmerksamkeit. Die Effekte der Faktoren *Hemisphäre* und *Stimulusstrom* addierten sich, wenn die Aufmerksamkeit auf das linke Gesichtsfeld fokussiert wurde. Dabei waren die Gipfellatenzen in der rechten Hemisphäre durchschnittlich um 14 ms kürzer als in der linken Hemisphäre ($F_{1,19} = 15,8, p = 0,001$). War umgekehrt die Aufmerksamkeit auf das rechte Gesichtsfeld fokussiert, ergab die Addition beider entgegengesetzten Effekte einen kleinen, aber noch signifikanten Unterschied von 6 ms zu Gunsten der rechten Hemisphäre gegenüber der linken Hemisphäre ($F_{1,19} = 6,0, p = 0,024$).

3.2.2.1.3 Kreuzkorrelation

Wurden die Spannungskurven der visuell evozierten Potentiale der linken Hemisphäre (PO7) und der rechten Hemisphäre (PO8) über die beiden Aufgabenbedingungen LVF/ RVF (Zielreiz im rechten oder im linken visuellen Feld) gemittelt, so zeigte sich eine maximale Korrelation zwischen den beiden Spannungskurven, wenn die Spannungskurve der rechten Hemisphäre im Mittelwert um 4,2 ms nach hinten geschoben wurde; sie wurde also um 4,2 ms schneller als in der linken Hemisphäre hervorgerufen ($t_{19} = 1,9, p = 0,073$). Bei dem Vergleich der Spannungskurven der Hemisphären in Bezug auf die gerichtete Aufmerksamkeit zur kontralateralen Seite (PO7 mit der Aufmerksamkeit auf das RVF vs. PO8 mit der Aufmerksamkeit auf das LVF), stellte sich heraus, dass die Spannungskurve der linken Hemisphäre um 4,5 ms langsamer als die der rechten Hemisphäre war, doch dieser Effekt erreichte kein Signifikanzniveau ($t_{19} = 1,7, p = 0,09$). Fast die gleiche Verzögerung wurde im Durchschnitt für die visuell evozierten Potentiale bei Konzentration auf die ipsilaterale Seite beobachtet (PO7 mit Aufmerksamkeit auf das LVF vs. PO8 mit Aufmerksamkeit auf das RVF), wobei die linke Hemisphäre im Vergleich zur rechten Hemisphäre die visuell evozierten Potentiale um 4,6 ms langsamer generierte. Dies war signifikant ($t_{19} = 2,1, p = 0,049$). Die Ergebnisse der Kreuzkorrelation gehen somit im Allgemeinen konform mit den Ergebnissen der vorherigen Analysen der Gipfellatenzen.

3.2.2.2 Amplituden der Visuell-evozierten-Potentiale

3.2.2.2.1 P1-Amplituden

Die Varianzanalyse zeigte einen signifikanten Haupteffekt des Faktors *Reizposition* ($F_{4,76} = 22,6, p < 0,001$). Die ausgelöste P1-Amplitude nach dem ersten Distraktorreiz ist im Vergleich zu den folgenden Amplituden deutlich am größten. Der einzige andere Effekt war die Interaktion aller drei Faktoren *Reizposition*, *Stimulusstrom* und *Hemisphäre* ($F_{4,76} = 8,0, p < 0,001$). Wurde die Aufmerksamkeit auf das linke visuelle Feld gerichtet, tendierten die P1-Amplituden ab der dritten Position dazu, größer auf der kontralateralen, also rechten Seite (PO8) zu sein als auf der ipsilateralen, linken Seite (PO7) (*Stimulusstrom x Reizposition bei Aufmerksamkeit auf das LVF: $F_{4,76} = 2,5, p = 0,06$; Stimulusstrom ab der dritten Position bei Aufmerksamkeit auf das LVF: $F_{1,19} = 5,4, p = 0,031$*). Wurde die Aufmerksamkeit auf das rechte visuelle Feld gerichtet, waren die Amplitudenunterschiede der ersten drei Positionen zwischen den kontra- (PO7) und ipsilateralen (PO8) Spannungskurven nicht signifikant (*Stimulusstrom für die ersten drei Positionen: $F = 2,6, p = 0,12$*). Von Bedeutung war, dass kein Effekt des Faktors *Hemisphäre* signifikant war ($F \leq 1,6, n.s.$).

3.2.2.2.2 N1-Amplituden

Deckungsgleich zur P1-Amplitudenanalyse erbrachte die ANOVA einen Haupteffekt der *Reizposition* ($F_{4,76} = 37,3, p < 0,001$). Die ausgelöste N1-Amplitude nach dem ersten Distraktorreiz ist im Vergleich zu den folgenden Amplituden deutlich am größten. Auch die Interaktion zwischen *Stimulusstrom* und *Reizposition* war signifikant (*Stimulusstrom x Reizposition: $F_{4,76} = 5,0, p = 0,002$*), bedingt durch den Haupteffekt des Faktors *Stimulusstrom* an der ersten Reizposition ($F_{1,19} = 19,9, p < 0,001$; *Stimulusstrom an der 2.-5. Position: $F < 1,0, n.s.$; Interaktion Stimulusstrom x Reizposition ohne die erste Position: $F = 1,2, n.s.$*): Die durch das erste Stimuluspaar evozierte N1-Amplitude stellte sich größer dar, wenn das Stimuluspaar im ipsilateralen visuellen Feld gezeigt wurde, als wenn es im kontralateralen visuellen Feld präsentiert wurde. Die Effekte des Faktors *Hemisphäre* waren erneut nicht signifikant ($F < 1,0, n.s.$).

4 Diskussion

Die beiden durchgeführten Experimente untersuchen, ob der Vorteil des linken visuellen Halbfeldes in der Zielreizerkennung (T2), welcher in einer bilateralen RSVP-Aufgabe beobachtet wird, die Lateralisierung der zeitlichen und/oder der räumlichen Aufmerksamkeit widerspiegelt. Dabei wurden zwei Aufgaben innerhalb der beiden Experimente gestaltet: Die unilaterale Aufgabe, in welcher die Zielreize T1 und T2 stets gekoppelt in einem visuellen Feld präsentiert wurden, sowie die bilaterale Aufgabe, in welcher T1 und T2 gekoppelt oder getrennt voneinander in den verschiedenen visuellen Feldern präsentiert wurden. In der unilateralen und bilateralen Aufgabe wurde die zeitliche Aufmerksamkeit durch Variation der T1-T2 Abstände (2, 4, 6, 8) einbezogen. Dabei herrschte am Abstand 2 die größte, am Abstand 4 und 6 (Abstand 6 nur im Experiment 2) eine moderate und am Abstand 8 die kleinste Beteiligung der zeitlichen Aufmerksamkeit. Der Begriff der zeitlichen Aufmerksamkeit bezieht sich hier auf das Phänomen des Attentional Blinks, ein Defizit in der Identifikationsquote des Zielreizes T2 200-500 ms nach T1, als möglicher Ausdruck der maximalen Kapazitätsauslastung der zeitlichen Aufmerksamkeitsressourcen (siehe Einleitung). Die exogene räumliche Aufmerksamkeit war in der bilateralen Aufgabe maximal involviert, da nicht bekannt war, in welchem visuellen Halbfeld T1 und T2 jeweils erscheinen würden. In der unilateralen Aufgabe wurde die exogene räumliche Aufmerksamkeit hingegen auf ein Minimum reduziert, da stets bekannt war, in welchem visuellen Feld die Zielreize erscheinen würden. Folglich war ausschließlich die endogene räumliche und zeitliche Aufmerksamkeit an der Zielreizidentifikation in der unilateralen Aufgabe beteiligt.

4.1 Verhaltensdaten

4.1.1 Zusammenfassung der Ergebnisse der unilateralen Aufgabe

Ein entscheidendes Resultat der unilateralen Aufgabe beider Experimente war, dass es keinen signifikanten Unterschied in der Erkennung des Zielreizes T2 in Bezug auf die beiden visuellen Felder gab. Es zeigte sich folglich kein Vorteil des linken visuellen Halbfeldes in der Zielreizerkennung, wenn die exogene räumliche Aufmerksamkeit nicht involviert war. Die zeitliche Verzögerung zwischen der Präsentation von T1 und dem darauf folgenden

Zielreiz T2 in Form der verschiedenen Abstände verursachte den typischen Attentional Blink Effekt: Je geringer dieser Abstand, desto geringer die Quote der T2-Identifikation. Wichtig war dabei, dass der Effekt des Faktors *Abstand* nicht mit dem Faktor *visuelles Feld* interagiert. Weder die zeitliche Unsicherheit über das Auftreten des Zielreizes T2 noch die Steigerung der Beteiligung der zeitlichen Aufmerksamkeit durch Verkürzung der T1-T2-Abstände hatte folglich einen Einfluss auf die Effekte des visuellen Feldes. Interessant war, dass T1 häufiger korrekt im rechten visuellen Feld als im linken visuellen Feld erkannt wurde.

4.1.2 Zusammenfassung der Ergebnisse der bilateralen Aufgabe

Auch in der bilateralen Aufgabe des ersten Experimentes wurde T1 häufiger im rechten visuellen Halbfeld erkannt. Im Gegensatz dazu wurde der Zielreiz T2 signifikant häufiger im linken visuellen Feld als im rechten visuellen Feld identifiziert. Diese Beobachtung repliziert den vielfach vorbeschriebenen Vorteil des linken visuellen Halbfeldes in der Zielreizerkennung von T2 [5, 61, 74, 130, 145, 147, 148]. Bedeutsam ist, dass dieser Vorteil dazu tendiert, geringer in den Durchgängen zu sein, in welchen T1 und T2 im selben visuellen Feld gekoppelt erscheinen (Bilateral/GS), als in den Durchgängen, in welchen T1 und T2 losgelöst voneinander in den verschiedenen visuellen Feldern erscheinen (Bilateral/VS). Darüber hinaus wird dieser Vorteil nicht durch die T1-T2-Abstand-Manipulation beeinflusst. Demzufolge hat die Variation des Faktors *Abstand*, und damit die zeitliche Aufmerksamkeit, keinen Einfluss auf die Asymmetrie der visuellen Felder in Bezug auf die Zielreizerkennung. Der Vorteil des linken visuellen Halbfeldes zeigte sich also, wenn die Versuchsteilnehmer nicht wussten, in welchem visuellen Feld die Zielreize erscheinen würden, folglich wenn die exogene räumliche Aufmerksamkeit maximal involviert war, bzw. die endogene Aufmerksamkeit auf beide visuellen Felder verteilt werden musste.

4.1.3 Zusammenfassung der Hypothesen

Die beobachteten Resultate sind deckungsgleich mit der Hypothese, dass der Vorteil des linken visuellen Feldes in der T2-Identifizierung einen Vorteil in der Stimulus-evozierten räumlichen Aufmerksamkeit widerspiegelt, möglicherweise als Ausdruck einer Dominanz der rechten Hemisphäre in der Verarbeitung dieser Stimuli. Die Hypothese einer möglichen Lateralisierung der endogenen räumlichen Aufmerksamkeit wurde durch die aktuellen Ergebnisse nicht unterstützt, weil es in der unilateralen Aufgabe keinen signifikanten Vorteil des linken visuellen Feldes in der Zielreizerkennung gab. Die Ergebnisse sprechen auch gegen die Hypothese, dass der Vorteil des linken visuellen Feldes durch eine Lateralisierung der zeitlichen Aufmerksamkeit, folglich eine Lateralisierung des Attentional Blinks in die rechte Hemisphäre, hervorgerufen wird. Falls die zeitliche Aufmerksamkeit lateralisiert wäre, und falls diese Lateralisierung verantwortlich für den Vorteil des linken visuellen Feldes wäre, dann müsste die Asymmetrie der visuellen Felder in der Zielreizerkennung mit geringeren Abständen von T1 zu T2 zunehmen ($2 > 4 > 6 > 8$). Diese Annahme bestätigte sich nicht, da es keine Interaktion zwischen den Faktoren visuelles Feld und Abstand gab, bzw. sich kein Vorteil des linken visuellen Feldes in der Zielreizerkennung in der unilateralen Aufgabe zeigte. Im Folgenden werden diese Hypothesen diskutiert.

Eine erste mögliche Schlussfolgerung könnte sein, dass sich der Vorteil des linken visuellen Feldes durch einen erhöhten Schwierigkeitsgrad der bilateralen Aufgabe in Gegensatz zur unilateralen Aufgabe erklären lässt. Ferner könnte es in der bilateralen Aufgabe zu einer erhöhten Belastung der Aufmerksamkeitsressourcen kommen. Gegen diese Annahme spricht jedoch, dass sich kein Unterschied in der Gesamt-T1-Identifikationsquote zwischen den verschiedenen Aufgaben in Experiment 1 zeigte. Ebenfalls gab es in Experiment 1 keinen Unterschied in der Gesamt-T2-Identifikationsquote zwischen der unilateralen Aufgabe und der bilateralen Aufgabe, in welcher T1 und T2 ipsilateral erschienen (Bilateral/GS), wobei es einen signifikanten Unterschied der Effekte der visuellen Felder in Bezug auf die T2-Identifikationsquoten zwischen diesen Bedingungen gab. Obwohl die unilaterale Aufgabe des Experimentes 2 geringfügig leichter zu lösen war als die unilaterale Aufgabe in Experiment 1 (Präsentation der Stimuluspaare für 130 ms in Experiment 2 vs. für 120 ms in Experiment 1), zeigten sich keine signifikanten Differenzen zwischen den Effekten der visuellen Felder in Bezug auf die T2-Identifikationsquote. Ein signifikant erhöhter Schwierigkeitsgrad der bilateralen Aufgabe ist daher nicht anzunehmen.

4.1.4 Lateralisierung der exogenen räumlichen Aufmerksamkeit

Der Vorteil des linken visuellen Halbfeldes in der T2-Zielreizerkennung zeigte sich in der aktuellen bilateralen Aufgabe unter maximaler Beanspruchung der exogenen räumlichen Aufmerksamkeit. Die Hypothese, dass die exogene räumliche Aufmerksamkeit ein entscheidender Faktor für das Auftreten des Vorteils des linken visuellen Feldes in der Zielreizerkennung ist, wird bereits durch vorherige Studien gestützt, welche zeigen, dass die räumliche Unsicherheit ein entscheidender Faktor für das Auftreten dieses Vorteils zu sein scheint [128; 148 Experiment 2]. Vergleicht man beispielsweise das Experiment 2 von *Verleger et al.* [148] mit der aktuellen unilaterale Aufgabe, so lässt sich feststellen, dass sich unter Beanspruchung der exogenen räumlichen Aufmerksamkeit der typische Vorteil des linken visuellen Feldes zeigt, welcher in der aktuellen unilaterale Aufgabe fehlt. In ihrem Experiment signalisierte T1 die räumliche Lokalisation von T2, aber die Zielreizseite variierte randomisiert von Durchgang zu Durchgang und räumliche sowie zeitliche Lokalisation der Zielreize blieb dabei bis zum Erscheinen des Zielreizes T1 unbekannt. Die Beteiligung der exogenen räumlichen Aufmerksamkeit war folglich gegeben im Vergleich zur aktuellen unilaterale Aufgabe. Da die Präsentation von T1 die Zielreizseite von T2 signalisierte, kam es bei der Darstellung von T1 zu einem endogenen Shift der räumlichen Aufmerksamkeit zur Zielreizseite. Als Ergebnis war der Vorteil des linken visuellen Feldes im Vergleich zur aktuellen Studie reduziert, aber dennoch vorhanden.

Zahlreiche Studien unterstützen die Hypothese, dass die exogene räumliche Aufmerksamkeit in die rechte Hemisphäre lateralisiert ist. Die Dominanz der rechten Hemisphäre zeigte sich in Studien besonders, wenn ein Zielreiz erkannt werden sollte, welcher plötzlich außerhalb des aktuellen Fokus der Aufmerksamkeit auftauchte und die exogene räumliche Orientierung zu diesem Zielreiz hin nötig war [123]. Eine funktionelle Magnetresonanztomographie-Studie von *Shulman et al.* [26, 124] zeigt die Asymmetrie zugunsten der rechten Hemisphäre durch einen direkten, voxelweisen Vergleich der Aktivitäten in linker und rechter Hemisphäre bei der Durchführung einer Variante der RSVP-Aufgabe mit räumlichem Cueing: Die Ausrichtung der räumlichen Aufmerksamkeit durch Stimuli sowohl im rechten, als auch im linken visuellen Feld löste eine signifikant dominante Aktivität im temporoparietalen Übergang der rechten Hemisphäre aus. Auch die Zielreizerkennung am erwarteten Ort evozierte eine weitreichende rechtshemisphärische Dominanz der Aktivität in frontalen, parietalen und temporalen Kortexarealen. Zudem

belegen *Arrington et al.* und *Corbetta et al.* Aktivitäten in rechten, frontoparietalen Arealen bei Ausrichtung der räumlichen Aufmerksamkeit durch die Präsentation von unerwarteten Zielreizen [3, 24]. Allgemein konnte oft reproduziert werden, dass Gehirnbereiche der rechten Hemisphäre wie der temporoparietale Übergang sowie Bereiche im ventralen-frontalen Kortex für die exogene räumliche Orientierung verantwortlich sind [30, 91, 125]. *Chambers et al.* und *Heinen et al.* bestätigen den Zusammenhang zwischen dem rechtshemisphärischen Gyrus angularis als Teil des temporoparietalen Übergangs und der räumlichen Orientierung [15, 53]. Verhaltensdaten verschiedener Studien ergänzen diese Feststellungen durch Nachweise eines Vorteils des linken visuellen Feldes, welcher beobachtet wird, wenn eine exogene räumliche Orientierung nötig ist [4, 35, 37]. Es zeigen sich weiterhin oft Defizite in der räumlichen Aufmerksamkeit nach Läsionen in der rechten Hemisphäre, selten aber solche Defizite nach Läsionen in der linken Hemisphäre [8, 28]. Die Ergebnisse stützen die Vermutung, dass der Vorteil des linken visuellen Halbfeldes durch eine Dominanz der rechten Hemisphäre in Bezug auf die exogene räumliche Aufmerksamkeit bedingt ist. Während aber die aktuelle Arbeit und vorausgehende Studien ausschließlich Rechtshänder in die Experimente einbeziehen, zeigt eine RSVP-Studie mit Linkshändern, dass bei ihnen ebenfalls der Vorteil des linken visuellen Feldes in der Zielreizerkennung besteht [129]. Es zeigen sich keinerlei Unterschiede im Vorteil des linken visuellen Feldes zwischen Rechts- und Linkshändern und damit scheint dieser Vorteil unabhängig von der Händigkeit zu sein. Man könnte daher schlussfolgern, dass der Vorteil des linken visuellen Feldes eher auf erlernte Prozesse wie die Leserichtung (von links nach rechts) zurückzuführen ist, anstatt auf die Lateralisierung der räumlichen Aufmerksamkeit. Jüngste Studien unterstützen diese Vermutung [60, 109]. So liefern *Holcombe et al.* [60] Belege dafür, dass wenn die gewohnte Leserichtung (von links nach rechts) manipuliert wird, der Vorteil des linken visuellen Feldes ausbleibt. Die Ergebnisse von *Ransley et al.* [109] stützen diese Resultate: Werden englischsprachigen Versuchsteilnehmern gewohnte lateinische Buchstaben in horizontal versetzten Strömen einer RSVP-Aufgabe präsentiert, so zeigt sich ein Defizit in der Zielreizerkennung im rechten visuellen Feld (Leserichtung von links nach rechts). Führen aber arabische Versuchsteilnehmer die äquivalente Aufgabe mit arabischer Schrift durch (Leserichtung von rechts nach links), so bleibt dieses Defizit aus. Die Leserichtung scheint sich daher auf die Verarbeitung der Stimuli auszuwirken.

4.1.5 Lateralisierung der endogenen räumlichen Aufmerksamkeit

Die Ergebnisse der aktuellen unilateralen Aufgabe lassen die Schlussfolgerung zu, dass die endogene räumliche Aufmerksamkeit eher bilateral in beiden Hemisphären lokalisiert zu sein scheint. Es zeigte sich kein signifikanter Vorteil eines visuellen Halbfeldes in der T2-Zielreizidentifizierung, weder in Experiment 1 noch in Experiment 2. Experiment 2 wurde somit als Bestätigung der Ergebnisse der unilateralen Aufgabe des Experiment 1 durchgeführt. Die Annahme, dass endogene Aufmerksamkeit nicht lateralisiert sein könnte, wird nicht nur durch die Ergebnisse der aktuellen Studie gestützt. Zahlreiche Neuroimaging-Studien lokalisieren die zuständigen anatomischen Gehirnareale im Sulcus intraparietalis (IPS) sowie im frontalen Augenfeld, welche in beiden Hemisphären die gleichen Kapazitäten aufzuweisen scheinen [24, 39, 64, 71, 79, 124]. Andererseits gibt es Arbeiten, welche zu dem Schluss kommen, dass endogene räumliche Aufmerksamkeit in die linke Hemisphäre lateralisiert sein könnte [48, 94]. Die aktuellen Ergebnisse stehen dem gegenüber und es sollte in zukünftigen Studien geklärt werden, ob sich eine Lateralisierung der endogenen Aufmerksamkeit beweisen lässt.

4.1.6 Lateralisierung der zeitlichen Aufmerksamkeit

Die Ergebnisse dieser Arbeit deuten ferner darauf hin, dass auch die zeitliche Aufmerksamkeit bilateral in beiden Hemisphären organisiert sein könnte, weil die zeitliche Aufmerksamkeit nicht verantwortlich für die Entstehung des Vorteils des linken visuellen Feldes war. Gleichzeitig deuten Ergebnisse anderer Studien darauf hin, dass die rechte Hemisphäre auch hinsichtlich der zeitlichen Aufmerksamkeit effizienter arbeiten könnte als die Gegenseite, da Asymmetrien in der zeitlichen Differenzierung zugunsten der rechten Hemisphäre präsentiert wurden [41, 59, 85, 97]. Auch existieren Hinweise, dass Aspekte der Aufmerksamkeit wie Vigilanz und Alarmierung („alertness“) nach rechts lateralisiert sind [52, 58, 138]. Die Ergebnisse der aktuellen Experimente zeigen aber keine Effekte der Variation der Abstände der T1- und T2-Präsentation in Bezug auf die Asymmetrie der visuellen Felder und keinen signifikanten Vorteil des linken visuellen Feldes in der unilateralen Aufgabe. Damit besteht keine Assoziation zum Attentional Blink. Dies steht im Widerspruch zu den vorherigen Studien. Es wurde kein direkter Beweis für eine Dominanz

der rechten Hemisphäre im Hinblick auf die zeitliche Aufmerksamkeit gefunden. Möglicherweise gibt es daher keine konstante Lateralisierung der zeitlichen Aufmerksamkeit. Der von *Battelli et al.* [9] beschriebene „Wann“-Pfad im rechten Parietallappen könnte einerseits in direktem Zusammenhang mit der Aufmerksamkeitsselektion stehen, was für eine Lateralisierung der zeitlichen Aufmerksamkeit in die rechte Hemisphäre sprechen würde. Es ist aber auch denkbar, dass die oben genannte Asymmetrie in der zeitlichen Differenzierung Ausdruck einer Lateralisierung des Wahrnehmungsprozesses sein könnte. Diese Annahme jedoch scheint inkongruent mit Untersuchungen, welche eine Prädominanz der linken Hemisphäre bezüglich einer besseren zeitlichen Auflösung der Wahrnehmungsverarbeitung zeigen [92, 93, 96]. Eventuell sind verschiedene Aspekte der Wahrnehmungsverarbeitung entgegengesetzt lateralisiert. Auch die Richtung der Lateralisierung der zeitlichen Verarbeitung könnte sich je nach spezifischer Aufgabenstellung, wie vorübergehender Erkennung oder kontinuierlicher Überwachung [97] oder durch Aufgabenanforderungen [58, 102] dynamisch ändern. Darüber hinaus gibt es Belege für eine Beteiligung des rechten intraparietalen Sulcus (IPS) an der zeitlichen Aufmerksamkeit [20, 66, 82]. Möglicherweise ist dies aber nicht die einzige anatomische Struktur, welche für die zeitliche Zielreizselektion in einer RSVP-Aufgabe verantwortlich ist. Es könnten Strukturen existieren, welche womöglich in der linken Hemisphäre lokalisiert sind. Beispielsweise gibt es eine Studie, welche darauf hinweist, dass eine weitere Struktur innerhalb des unteren Parietallappens (IPL) für die zeitliche Zielreizselektion verantwortlich ist und dass eine Läsion innerhalb dieser Struktur in der linken Hemisphäre diesen zeitlichen Prozess ähnlich der Schädigung der Struktur innerhalb der rechten Hemisphäre stört [120]. Eine weitere funktionelle Magnetresonanztomografie-Studie gibt an, dass die erfolgreiche Identifikation von T2 während des zeitlichen Intervalls des Attentional Blinks nicht nur den rechten und den linken unteren Parietallappen betraf, sondern auch die Aktivierung in der linken Hemisphäre signifikant größer war als kontralateral rechts [73]. Laut einer Arbeit mit transkranieller Magnetstimulation von Kihara et al. [70] hängt die allgemeine Aufgabe des rechten intraparietalen Sulcus (IPS) mit der Auswahl von aufgabenrelevanten Zielreizen zusammen und seine spezifische Aufgabe mit der erfolgreichen Generierung der zeitlichen Aufmerksamkeit während des Intervalls des Attentional Blinks, da er zur Loslösung und zeitlichen Neuorientierung der Aufmerksamkeit von T1 auf T2 beiträgt. Es muss ferner erwähnt werden, dass eine erfolgreiche Zielreizidentifizierung in RSVP-Aufgaben mehrere Mechanismen umfasst, welche einem Großnetzwerk unterliegen, das neben der in den

Parietalbereichen lokalisierten Aufmerksamkeitsauswahl auch die in den inferioren temporalen Bereichen lokalisierte Stimulusidentifikation und die Verschlüsselung als Gedächtnisspur in den lateralen, frontalen Arealen umfasst [63, 83].

Weiterhin zeigen zwei RSVP-Studien bei Split-Brain-Patienten einen Vorteil des rechten visuellen Feldes in der T2-Identifizierung anstatt des üblichen Vorteils des linken visuellen Feldes. Interessant ist, dass sich in diesen Studien keine Asymmetrie des visuellen Feldes bei gesunden Versuchsteilnehmern erkennen lässt [44, 108]. Dieser Vorteil des rechten visuellen Feldes könnte eine Dominanz der linken Hemisphäre in der zeitlichen Aufmerksamkeit widerspiegeln, welcher im Gegensatz zum vorher beschriebenen Vorteil der rechten Hemisphäre sowie zum vorher beschriebenen Vorteil der linken Hemisphäre bei Wahrnehmungsprozessen steht [92]. Es ist schwierig zu deuten, warum solche Ergebnisse in beiden Studien beobachtet wurden. Insgesamt müssen die Ergebnisse der Studien aus mehreren Gründen kritisch betrachtet werden. Zum einen wurde sowohl bei *Giesbrecht & Kingstone*, als auch bei *Ptito et al.* jeweils nur ein einziger Split-Brain-Patient untersucht. Zum anderen wurden anstelle von zwei RSVP-Strömen in beiden Experimenten vier gleichzeitige Reizströme präsentiert, zwei im linken und zwei im rechten visuellen Feld. Bemerkenswert ist, dass *Scalf et al.* ebenfalls vier Zielreizströme benutzten und sich trotzdem der bekannte Vorteil des linken visuellen Feldes ergab [115].

4.1.7 Lateralisierung von Wahrnehmungsprozessen

Eine andere Hypothese geht davon aus, dass der Vorteil des linken visuellen Feldes eine Lateralisierung der Wahrnehmung widerspiegelt. Somit könnte die Entität der Zielreize von entscheidender Bedeutung sein. Ziffern werden tatsächlich bevorzugt im visuellen System der rechten Hemisphäre verarbeitet, dafür sprechen Studien [100, 101]. Buchstaben hingegen werden im visuellen System der linken Hemisphäre verarbeitet [31, 34]. Da T2 in der aktuellen Studie durch eine Ziffer repräsentiert wird, könnte man annehmen, dass der Vorteil des linken visuellen Halbfeldes Ausdruck dieser Wahrnehmungsasymmetrien ist. Allerdings wird der Vorteil des linken visuellen Feldes auch bei andersartigen T2-Zielreizen, wie lateinischen Buchstaben, geometrischen Hexagonen und sogar Gesichtern beobachtet [5, 6, 112]. Wird T2 allerdings durch einen schwarzen, lateinischen Buchstaben repräsentiert, welcher in einen Distraktorenstrom aus schwarzen, lateinischen Buchstaben

eingebettet ist, wobei T2 lediglich größer als die Distraktoren abgebildet wird, so ist der Vorteil des linken visuellen Feldes nicht anzutreffen (T1 wurde als roter, lateinischer Buchstabe repräsentiert) [87]. Wie *Meyen* vorschlägt, könnte dies durch eine mögliche Maskierung des Zielreizes oder durch illusorische Konjunktionen bedingt sein. Die Arbeiten von *Śmigasiewicz & Liebrand* und *Beier* (unveröffentlicht) zeigen interessanterweise, dass der Vorteil des linken visuellen Halbfeldes ausbleibt, wenn arabische Ziffern als Distraktoren Verwendung finden [129, 10], obwohl die rechte Hemisphäre auf die Verarbeitung von Ziffern spezialisiert zu sein scheint. Allerdings lässt sich der Vorteil des linken visuellen Feldes wiederum beobachten, wenn bei Chinesen oder Israelis ihre chinesische oder hebräische Schrift als Distraktorenstrom verwendet wird, auch wenn der Vorteil geringer ausgeprägt ist [130]. Ob der Vorteil des linken visuellen Halbfeldes vom verwendeten Stimulusmaterial abhängig ist, konnte also bisher noch nicht eindeutig geklärt werden. Wahrnehmungsprozesse wie die erlernte Leserichtung scheinen den Vorteil des linken visuellen Feldes zu beeinflussen (siehe oben). Des Weiteren gibt es Belege, dass die rechte Hemisphäre in frühen Wahrnehmungsstadien der visuellen Verarbeitung effizienter arbeitet als die kontralaterale Gegenseite [46, 56, 57]. Dies zeigt sich beispielsweise in den frühen Latenzen von Distraktor-evozierten, visuellen Potentialen [6, 145, 147]. Bisher gab es aber keine Beweise dafür, dass diese Dominanz der rechten Hemisphäre in der Wahrnehmung im Zusammenhang mit dem Vorteil des linken visuellen Feldes bezüglich der T2-Identifikation steht [6, 129, 148]. Die Asymmetrie der visuellen Felder lässt sich daher nicht sicher auf eine Lateralisierung der perzeptuellen Verarbeitung zurückführen.

4.1.8 Interaktion zwischen den Hemisphären

Nicht abschließend geklärt ist, ob die Verarbeitungsmechanismen von räumlicher und zeitlicher Aufmerksamkeit bzw. Wahrnehmung unabhängig voneinander sind oder miteinander interagieren [9, 65, 111, 114]. *Husain et al.* [65] registrierten einen abnormal verlängerten Attentional Blink bei Patienten mit einer Schädigung innerhalb der rechten Hemisphäre in Gegensatz zu gesunden Versuchsteilnehmern. Auch wurde gezeigt, dass diese Verstärkung des rechtshemisphärischen Attentional Blinks bei Neglectpatienten stärker war, wenn die Stimuli auf der kontralateralen Seite (linkes visuelles Feld) erschienen, als wenn diese auf der ipsilateralen Seite (rechtes visuelles Halbfeld) präsentiert wurden [77]. *Li et al.* folgerten, dass zeitliche und räumliche Verarbeitung interagiert. Da sich diese

Studien auf Patienten mit Läsionen innerhalb der rechten Hemisphäre beschränken, ist nicht bekannt, ob ein derartig verlängerter Attentional Blink auch linkshemisphärisch zu beobachten wäre. Unsere Ergebnisse liefern sowohl Aspekte für und gegen eine Interaktion der räumlichen und zeitlichen Verarbeitungsmechanismen. Einerseits war der Effekt des Abstandes, folglich der Attentional Blink, am größten in der bilateralen Aufgabe mit T1 und T2 auf verschiedenen Seiten (Bilateral/VS), also wenn die räumliche Aufmerksamkeit am stärksten involviert war. Andererseits beeinflusste die Variation der zeitlichen Parameter die Auswirkungen der räumlichen Aufmerksamkeit auf den Vorteil des linken visuellen Feldes nicht. Womöglich kann räumliche und zeitliche Aufmerksamkeit dementsprechend in bestimmten Situationen interagieren.

Interessant ist, dass wahrscheinlich auch interhemisphärischer Transfer von Informationen und der Wettbewerb der Hemisphären bei der visuellen Informationsverarbeitung an der Erzeugung des Vorteils des linken visuellen Feldes beteiligt sind. Da die Versuchsteilnehmer in der bilateralen Aufgabe nicht wissen, wo und wann die Zielreize auftreten, erfordert deren Identifikation eine ständige Überwachung des Distraktorenstroms, was zu einer Konkurrenz um die Aufmerksamkeit zwischen den Hemisphären führt. *Desimone & Duncan* beschreiben diese Konkurrenz als voreingenommen [„*The biased competition model*“, 32], da die räumliche Aufmerksamkeit in die rechte Hemisphäre lateralisiert zu sein scheint. Das rechtshemisphärische Selektionssystem hat den direkten Zugriff auf die Informationen des linken visuellen Feldes, wohingegen die Informationen des rechten visuellen Feldes noch nicht an die rechte Hemisphäre über das Corpus callosum weitergeleitet wurden, da dies einige Zeit in Anspruch nimmt. Darüber hinaus können bei diesem Transfer auch Informationen verloren gehen [„*The callosal relay model of functional lateralization*“, 88, 156]. Diese Beobachtungen könnten zu dem Vorteil des linken visuellen Feldes beitragen und ihn entsprechend verstärken.

Eine denkbare Einschränkung der aktuellen Studie ergibt sich aus der folgenden Überlegung: Die räumliche Sicherheit der Präsentation der Zielreize in der unilateralen Aufgabe impliziert die Verarbeitung von T2 durch dieselbe Hemisphäre, welche auch T1 verarbeitet. Die räumliche Unsicherheit in der bilateralen Aufgabe hingegen impliziert einen möglichen Wechsel zwischen den Hemisphären in der T1- zur T2-Verarbeitung. Diese Frage sollten zukünftige Studien behandeln.

4.1.9 Vorteil des rechten visuellen Feldes in der T1-Zielreizerkennung

Letztlich muss erwähnt werden, dass der Zielreiz T1 sowohl in der unilateralen Aufgabe, als auch in der bilateralen Aufgabe häufiger korrekt im rechten visuellen Feld erkannt wurde. Möglicherweise ist dies auf die bekannte Dominanz der linken Hemisphäre bei der Verarbeitung von verbalen und symbolischen Stimuli wie Buchstaben und Wörtern zurückzuführen [31, 34]. Dieser Vorteil des rechten visuellen Feldes in Bezug auf die T1-Identifikation konnte schon zuvor in Studien gezeigt werden [130].

4.1.10 Schlussfolgerung

Die Ergebnisse der aktuellen Experimente lassen die Schlussfolgerung zu, dass der Vorteil des linken visuellen Feldes nicht die Lateralisierung der zeitlichen Aufmerksamkeit, sondern die Dominanz der rechten Hemisphäre in der exogenen räumlichen Orientierung reflektiert, und deutet daraufhin, dass der Attentional Blink womöglich nicht lateralisiert ist. Alternativ könnte der Vorteil des linken visuellen Feldes auf die erlernte Leserichtung zurückzuführen sein, wenn man die Ergebnisse in der Zusammenschau mit den Resultaten jüngster Studien betrachtet [60, 109, 129].

4.2 EEG-Komponenten: Visuell-evozierte-Potentiale

4.2.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

In Experiment 1 tendierten die visuell evozierten Potentiale dazu, schneller in der rechten Hemisphäre generiert zu werden als in der linken Hemisphäre, doch dieser Effekt erlangte kein Signifikanzniveau. Weder eine der drei Aufgabenbedingungen (LVF, RVF, bilateral) noch der Gesamtmittelwert über alle Aufgabenbedingungen zeigten signifikante Latenzunterschiede zwischen linker und rechter Hemisphäre. Was die Ergebnisse jedoch belegten, war, dass jede Hemisphäre schneller visuell evozierte Potentiale generiert, wenn die Aufmerksamkeit auf ihr kontralaterales visuelles Feld gerichtet ist, als wenn die Aufmerksamkeit bilateral verteilt wird. Das gilt gleichermaßen für die rechte wie für die linke Hemisphäre.

In Experiment 2 konnten allgemein kürzere Latenzen der visuell evozierten Potentiale in der rechten Hemisphäre im Vergleich zur linken Hemisphäre ermittelt werden: Bei der auch in Experiment 1 verwendeten Methode der Kreuzkorrelation nur der Tendenz nach (zwischen $p = .05$ und $p = .09$ für die drei Aufmerksamkeitsbedingungen), aber wenn die Latenzen der positiven und negativen Gipfel einzeln bestimmt wurden, war der Hemisphärenunterschied für P1 und N1 deutlich signifikant. Die Latenzen der visuell evozierten Potentiale waren allgemein kürzer, wenn sie durch den kontralateralen Distraktorstrom ausgelöst wurden, im Vergleich zu den Latenzen, welche durch den ipsilateralen Distraktorstrom induziert wurden. Wichtig dabei ist, dass sich diese beiden Effekte addierten: Die Verkürzung der Latenzen der visuell evozierten Potentiale der rechten Hemisphäre gegenüber der linken Hemisphäre war besonders groß, wenn die Aufmerksamkeit auf das linke visuelle Feld gerichtet wurde, und ging gegen Null, wenn die Aufmerksamkeit auf das rechte visuelle Feld gerichtet wurde.

Wie schon in vorhergehenden Experimenten [145, 147] ergeben die Analysen der Amplituden kleinere und weniger konstante Effekte im Vergleich zu den Latenzanalysen. Die P1-Amplituden tendieren dazu, in der Hemisphäre kontralateral zum fokussierten visuellen Feld größer zu sein als in der ipsilateralen Hemisphäre, allerdings nur wenn die Aufmerksamkeit auf das linke visuelle Feld gerichtet wurde und auch nur ab der dritten Distraktorreizposition. Interessant ist, dass die N1-Amplituden, welche ipsilateral zum beobachteten visuellen Feld erzeugt wurden, an der ersten Distraktorreizposition größer sind als die kontralateral evozierten N1-Amplituden. Es wurde kein signifikanter Unterschied

zwischen den beiden Hemisphären in Bezug auf die Amplituden der visuell evozierten Potentiale gefunden.

4.2.2 Zusammenfassung der Hypothesen

Insgesamt liefern die Ergebnisse Hinweise dafür, dass die Konzentration auf ein visuelles Feld die schnellere Generierung der visuell evozierten Potentiale begünstigt. Die Ausrichtung der Aufmerksamkeit bedingt dabei jedoch nicht die Asymmetrie in der Erzeugung der visuell evozierten Potentiale. Die Tendenz der kürzeren Latenzen und größeren Amplituden der visuell evozierten Potentiale innerhalb der rechten Hemisphäre könnte einen Vorteil in der frühen Wahrnehmungsverarbeitung widerspiegeln.

4.2.3 Lateralisierung von Wahrnehmungsprozessen

Frühere Studien liefern Belege, dass die rechte Hemisphäre in frühen Wahrnehmungsstadien der visuellen Verarbeitung effizienter arbeitet als die linke Hemisphäre [46, 56, 57]. Dies zeigt sich in den Latenzen früher Komponenten von Distraktor-evozierten, visuellen Potentialen [6, 145, 147]. *Hellige & Michimata* [56] nannten diese Beobachtung die Stimulus-Wahrnehmungs-Hypothese, welche besagt, dass die rechte Hemisphäre erste Wahrnehmungsvorgänge von visuellen Informationen effizienter durchführt, unabhängig von anderen hemisphärischen Spezialisierungen in späteren kognitiven Stadien. Dieser Vorteil wird jedoch nur dann deutlich, wenn die Ansprüche an die Wahrnehmung hoch genug sind, zum Beispiel wenn Reize mit einer kurzen Dauer, geringem Kontrast, verschwommenen Konturen oder ähnlichem präsentiert werden. Infolgedessen konnte ein Vorteil des linken visuellen Feldes auch bei Stimuli beobachtet werden, die bekanntlich vorrangig im visuellen System der linken Hemisphäre verarbeitet werden, wie Buchstaben, Worte oder Gitter mit hoher räumlicher Dichte [19, 46, 47, 54, 56, 57, 69, 104, 119]. Sollte die rechte Hemisphäre also einen generellen Vorteil in frühen Stadien der Wahrnehmungsverarbeitung haben, so müssten sich kürzere Latenzen und größere Amplituden der visuell evozierten Potentiale unabhängig von der gerichteten Aufmerksamkeit und unabhängig vom verwendeten Reizmaterial zeigen. Die aktuellen

Ergebnisse zeigen eine Asymmetrie der visuell evozierten Potentiale zugunsten der rechten Hemisphäre. So wurden die Potentiale im Allgemeinen schneller in der rechten Hemisphäre generiert, allerdings erreichten diese Ergebnisse im Experiment 1 kein Signifikanzniveau. Darüber hinaus ließ sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Hemisphären in Bezug auf die Amplituden der Potentiale aufzeigen. Die Studie von *Beier* (unveröffentlicht) [10] zeigte, dass verschiedenes Distraktormaterial wie Buchstaben, Ziffern und auch tibetische Buchstaben kürzere Latenzen und größere Amplituden der visuell evozierten Potentiale der rechten Hemisphäre im Gegensatz zur linken Hemisphäre hervorruft. Dies konnte bereits durch Studien von *Verleger et al.* gezeigt werden [145, 147]. Allerdings war diese Asymmetrie zugunsten der rechten Hemisphäre bei unbekanntem Stimuli wie den tibetischen Buchstaben abgeschwächt, da sich bei diesem Distraktormaterial die kleinsten Amplituden abbilden ließen [10]. Ziffern evozierten bei *Beier* die größten Amplituden und lateinische Buchstaben die kürzesten Latenzen. Somit besteht ein Einfluss des Reizmaterial auf die Amplituden und Latenzen der visuell evozierten Potentiale. Die angenommene Dominanz der rechten Hemisphäre in frühen Stadien der Wahrnehmungsverarbeitung wird dementsprechend durch verschiedene Faktoren moduliert. Dennoch lässt sich ein Vorteil der rechten Hemisphäre in der Verarbeitungsgeschwindigkeit der Potentiale innerhalb einiger Studien replizieren [112, 145, 146, 147]. Andererseits gibt es aber auch vorausgehende Studien, welche wie das erste Experiment der aktuellen Arbeit keine signifikante Asymmetrie der visuell evozierten Potentiale zugunsten einer Hemisphäre aufzeigen können [87]. Nicht abschließend geklärt ist, ob die teilweise beobachteten größeren Amplituden der visuell evozierten Potentiale der rechten Hemisphäre eine höhere oder geringere Effektivität der Verarbeitung bedeuten.

Die Dominanz der rechten Hemisphäre in der frühen Wahrnehmungsverarbeitung könnte auch durch hemisphärisch anatomische Unterschiede bedingt werden. So existieren Unterschiede in strukturellen Merkmalen, wie die Anzahl und Dichte von Neuronen sowie Volumina und kortikale Dicke bestimmter Bereiche des visuellen Systems [1, 16]. *Murphy, DeCaril & McIntosh* konnten mittels einer kombinierten MRT- und PET-Studie zeigen, dass die primäre Sehrinde bei Rechtshändern im Durchschnitt deutlich größere Volumina in der rechten Hemisphäre im Vergleich zur linken Hemisphäre aufweist [90].

Die Asymmetrie der visuell evozierten Potentiale könnte durch eine höhere Empfindlichkeit des rechten visuellen Systems in den Anfangsprozessen der Entschlüsselung von noch nicht erkannten Reizen bedingt sein oder die rechte Hemisphäre weist eine höhere Effizienz bei

der Filtration relevanter visueller Merkmale auf, wenn die Stimulussichtbarkeit nicht optimal ist [42, 46, 57]. Dementsprechend könnte sich der Vorteil der rechten Hemisphäre in einer Weise entwickeln, die sich mit der Lateralisierung des Lesens vergleichen lässt. Bezogen auf das Lesen sind beide Hemisphären gleichermaßen der Stimulation während der Entwicklung ausgesetzt, aber die linke Hemisphäre lernt effizienter aufgrund der spezifischen Anatomie bzw. der direkten Lokalisation von Sprachgebieten [31]. In Bezug auf die frühe Wahrnehmungsverarbeitung könnte die rechte Hemisphäre durch mehr Praxis eine höhere Effizienz erlangen.

Auch könnte der Vorteil der rechten Hemisphäre bei der Verarbeitungsgeschwindigkeit visueller Potentiale die Lateralisierung der interhemisphärischen Kommunikation beeinflussen, was einen schnelleren Transfer von Informationen von der rechten in die linke Hemisphäre bedeuten könnte [7, 84, 125].

Darüber hinaus liefert eine Studie von *Śmigasiewicz, Liebrand, Landmesser & Verleger* [129] erstaunliche Ergebnisse, welche eine weitere Interpretation des bekannten Vorteils der rechten Hemisphäre bei der Erzeugung von visuellen Potentialen zulassen: Erstmals wurden auch Linkshänder als Probanden in die Experimente integriert. Bei ihnen zeigte sich die Asymmetrie der Latenz der visuell evozierten Potentiale zugunsten der rechten Hemisphäre nicht, obwohl sich auch der Vorteil des linken visuellen Feldes in der Zielreizerkennung von T2 zeigte. Die Organisation der frühen visuellen Wahrnehmung in den Hemisphären scheint dementsprechend abhängig von der Händigkeit zu sein.

4.2.4 Einfluss der Aufmerksamkeit

Die Ergebnisse der aktuellen Studie zeigen, dass sich die Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf eines der visuellen Felder modulierend auf die visuell evozierten Potentiale auswirkte. Diese Beobachtung steht im Einklang mit der Annahme zahlreicher Studien, dass die Aufmerksamkeit in der Lage sein könnte, jeden Aspekt der Wahrnehmung in fast jeder Phase der Verarbeitung zu modulieren [80, 118, 128, 131]. Die Ausrichtung der Aufmerksamkeit wirkte sich verstärkend auf die schnellere Generierung der visuell evozierten Potentiale aus, wenn das kontralaterale visuelle Feld fixiert wurde. Die Latenzen der visuell evozierten Potentiale waren allgemein kürzer, wenn sie durch den kontralateralen Distraktorstrom ausgelöst wurden, im Vergleich zu den Latenzen, welche durch den ipsilateralen

Distraktorstrom induziert wurden. Der Effekt der Aufmerksamkeit intragierte dabei nicht mit der hemisphärischen Asymmetrie, sondern zeigte sich dazu additiv. Dabei glich die Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf das rechte visuelle Feld die hemisphärische Asymmetrie für die P1-Latenz aus und verminderte sie für die N1-Latenz. Die Ergebnisse zeigen zusammenfassend, dass die Ausrichtung der Aufmerksamkeit nicht der Grund für die Asymmetrie der visuell evozierten Potentiale ist.

Das beobachtete Resultat, dass größere ipsilaterale als kontralaterale N1-Amplituden an der ersten Reizposition auftraten, ist schwer zu deuten. Aus früheren Studien ist bekannt, dass N1 einen frühen Differenzierungsprozess eines Stimulus widerspiegelt, wenn die Aufmerksamkeit auf ein bestimmtes Ziel fokussiert ist [150]. N1 reflektiert somit den Beginn der Prozessierung eines Reizes bei gerichteter Aufmerksamkeit. Möglicherweise löst diese initiale visuelle Observation eine größere N1-Amplitude ipsilateral zum fokussierten visuellen Feld aus.

4.2.5 Schlussfolgerung

Abschließend lässt sich vermuten, dass der Vorteil der rechten Hemisphäre in der frühen Wahrnehmungsverarbeitung die primäre Ursache der VEP-Asymmetrie ist, wobei diese Asymmetrie durch weitere Faktoren wie die Verarbeitung von bekannten Reizen und die gerichtete Aufmerksamkeit moduliert werden kann.

5 Zusammenfassung

Diese Arbeit untersucht die Hemisphärenasymmetrie in Bezug auf die räumliche und zeitliche Aufmerksamkeit. Im Rahmen einer schnellen visuellen Reizpräsentation wurden optische Reize in zwei Stimulusströmen links und rechts eines mittigen Fixationskreuzes auf einem Bildschirm präsentiert. Eingebettet in einen Strom aus Distraktoren mussten zwei aufeinander folgende Zielreize (T1 und T2) erkannt werden. Vorausgehende Arbeiten zeigen, dass der zweite Zielreiz (T2) häufiger korrekt in dem linksseitigen Strom erkannt wird: Ein Vorteil des linken visuellen Halbfeldes in der Zielreizerkennung von T2 und somit möglicherweise Ausdruck einer Dominanz der rechten Hemisphäre. Dieses Phänomen wurde durch zwei Aufgaben in zwei Experimenten erneut untersucht. Im Gegensatz zu vorausgehenden Arbeiten gestalteten wir eine unilaterale Aufgabe, in welcher die Zielreize T1 und T2 stets gekoppelt in einem visuellen Feld präsentiert wurden. Da immer bekannt war, in welchem visuellen Feld die Zielreize erscheinen würden, wurde die räumliche Aufmerksamkeit hier auf ein Minimum reduziert. Darüber hinaus wurde eine bilaterale Aufgabe gestaltet, der Standardaufgabe in vorausgehenden Arbeiten entsprechend, in der die Zielreize gekoppelt oder getrennt voneinander in beiden Stimulusströmen erschienen. Da nicht bekannt war, in welchem Stimulusstrom die Zielreize erscheinen würden, war die räumliche Aufmerksamkeit maximal involviert. Die zeitliche Aufmerksamkeit wurde in beiden Aufgaben durch Variation der T1-T2 Abstände einbezogen. So prüften die Experimente, ob der Vorteil des linken visuellen Halbfeldes die Lateralisierung der zeitlichen und/oder der räumlichen Aufmerksamkeit widerspiegelt. Neben dem Antwortverhalten wurden mittels eines abgeleiteten Elektroenzephalogramms die visuell evozierten Potentiale analysiert.

Während sich in der unilateralen Aufgabe kein Vorteil des linken visuellen Halbfeldes in der Zielreizerkennung von T2 zeigte, ließ sich dieser Effekt signifikant in der bilateralen Aufgabe reproduzieren. Der Vorteil des linken visuellen Halbfeldes in dieser Aufgabe ist daher ein Vorteil bezüglich der räumlichen Aufmerksamkeit, nicht der zeitlichen. Dieser Vorteil könnte daher eine Dominanz der rechten Hemisphäre in der räumlichen Orientierung reflektieren.

Eine schnellere Generierung der visuell evozierten Potentiale in der rechten Hemisphäre konnte nur in einem Teil der Experimente gezeigt werden. Diese Dominanz der rechten

Hemisphäre scheint dabei aber nicht auf die Ausrichtung der Aufmerksamkeit zurückzuführen zu sein, da die Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf das rechte visuelle Feld die hemisphärische Asymmetrie der Latenzen ausglich. Die Tendenz der kürzeren Latenzen und größeren Amplituden der Potentiale in der rechten Hemisphäre könnte eher einen Vorteil in der frühen Wahrnehmungsverarbeitung widerspiegeln.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass die rechte Hemisphäre der linken Hemisphäre sowohl in der räumlichen Orientierung als auch in der Wahrnehmungsverarbeitung überlegen sein könnte.

6 Literaturverzeichnis

1. Amunts, K. (2010). Structural indices of asymmetry. In: Hugdahl, K., Westerhausen, R. (Eds.), *The two halves of the brain*. *The MIT Press, Cambridge, MA*, 146-175.
2. Amunts, K., Schlaug, G., Jäncke, L., Steinmetz, H., Schleicher, A., & Zilles, K. (1997). Motor cortex and hand motor skills: Structural compliance in the human brain. *Human Brain Mapping*, 5, 206-215.
3. Arrington, C., Carr, T., Mayer A., & Rao, S. (2000). Neural Mechanisms of Visual Attention: Object-Based Selection of a Region in Space. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, Issue supplement 2, 106-117.
4. Asanowicz, D., Marzecová, A., Jaśkowski, P., & Wolski, P. (2012). Hemispheric asymmetry in the efficiency of attentional networks. *Brain and Cognition*, 79, 117-128.
5. Asanowicz, D., Śmigasiewicz, K., & Verleger, R. (2013). Differences between visual hemifields in identifying rapidly presented target stimuli: Letters and digits, faces, and shapes. *Frontiers in Psychology*, 4, 1-13.
6. Asanowicz, D., Verleger, R., Kruse, L., Beier, K., & Śmigasiewicz, K. (2017). A right hemisphere advantage at early cortical stages of processing alphanumeric stimuli. Evidence from electrophysiology. *Brain and Cognition*, 113, 40-55.
7. Barnett, K. J., & Corballis, M. C. (2005). Speeded right-to-left information transfer: The result of speeded transmission in right-hemisphere axons? *Neuroscience Letters* 380, 88-92.
8. Bartolomeo, P. (2014). *Attention disorders after right brain damage. Living in halved worlds*. London: *Springer*.
9. Battelli, L., Pascual-Leone, A., & Cavanagh, P. (2007). The 'when' pathway of the right parietal lobe. *Trends in Cognitive Sciences*, 11, 204-10.
10. Beier, K. (2009). *Dissertationsprojekt, unveröffentlicht*. Universität zu Lübeck.
11. Bisiach, E., & Vallar, G. (1988). Hemineglect in humans. In: Boller, F., Grafman, J. (Hrsg.), *Handbook of Neuropsychology*, Vol. 1, Amsterdam: *Elsevier Science Publisher B.V.*, 195-222.
12. Bowman, H., & Wyble, B. (2007). The simultaneous type, serial token model of temporal attention and working memory. *Psychological Review*, 114, 38-70.
13. Broadbent, D. E. (1958). *Perception and Communication*. *Pergamon Press*, London.

14. Broadbent, D. E., & Broadbent, M. H. (1987). From detection to identification: Response to multiple targets in rapid serial visual presentation. *Perception & Psychophysics*, 42, 105-13.
15. Chambers, C. D., Payne, J. M., Stokes, M. G., & Mattingley, J. B. (2004). Fast and slow parietal pathways mediate spatial attention. *Nature Neuroscience*, 7, 217-218.
16. Chance, S. A. (2014). The cortical microstructural bias of lateralized cognition: A review. *Frontiers in Psychology*, 5, 1-8.
17. Cherry, E. C. (1953). Some experiments on the recognition of speech, with one and with two ears. *Journal of the Acoustical Society of America*, 25, 975-979.
18. Chun, M. M., & Wolfe, J. M. (2001). Visual Attention. In B. Goldstein (Ed.), *Blackwell handbook of perception*, Oxford: Blackwell, 272-310.
19. Christman, S. (1989). Perceptual characteristics in visual laterality research. *Brain and Cognition*, 11, 238-257.
20. Cooper, A. C., Humphreys, G. W., Hulleman, J., Praamstra, P., & Georgeson, M. (2004). Transcranial magnetic stimulation to right parietal cortex modifies the attentional blink. *Experimental Brain Research*, 155, 24-29.
21. Corballis, M. C., & Sergent, J. (1988). Imagery in a commissurotomed patient. *Neuropsychologia*, 26, 13-26.
22. Corballis, M. C., & Sidey, S. (1993). Effects of concurrent memory load on visual-field differences in mental rotation. *Neuropsychologia*, 31, 183-197.
23. Corballis, P. M., Funnell, M. G., & Gazzaniga, M. S. (1999). A dissociation between spatial and identity matching in callosotomy patients. *Neuroreport*, 10, 2183-2187.
24. Corbetta, M., Kincade, J., Ollinger, J., McAvoy, M., & Shulman, G. (2000). Voluntary orienting is dissociated from target detection in human posterior parietal cortex. *Nature Neuroscience*, 3, 292-297.
25. Corbetta, M., Miezin, F. M., Shulman, G. L., & Petersen, S. E. (1993). A PET study of visuospatial attention. *Journal of Neuroscience*, 13, 1202-1226.
26. Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 3, 201-215.
27. Corbetta, M., Patel, G., & Shulman, G. L. (2008). The reorienting system of the human brain: From environment to theory of mind. *Neuron*, 58, 306-24.
28. Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2011). Spatial neglect and attention networks. *Annual Review of Neuroscience*, 34, 569-599.

29. Crow, T. J. (2002). Sexual selection, timing, and an X-Y homologous gene: Did *Homo sapiens* speciate on the Y chromosome? In T. J. Crow (Ed.), *The speciation of modern Homo sapiens*. Oxford: *Oxford University Press*. 197-216.
30. De Haan, B., Bither, M., Brauer, A., & Karnath, H. O. (2015). Neural correlates of spatial attention and target detection in a multi-target environment. *Cerebral Cortex*, 25, 2321-31.
31. Dehaene, S., & Cohen, L. (2011). The unique role of the visual word form area in reading. *Trends in Cognitive Sciences*, 15, 254-62.
32. Desimone, R., & Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual Review of Neuroscience*, 18, 193-222.
33. Deutsch, J. A., & Deutsch, D. (1963). Attention: Some theoretical considerations. *Psychological Review*, 70, 80-90.
34. Dien, J. (2009). A tale of two recognition systems: Implications of the fusiform face area and the visual word form area for lateralized object recognition models. *Neuropsychologia*, 47, 1-16.
35. Du, F., & Abrams, R. A. (2010). Visual field asymmetry in attentional capture. *Brain and Cognition*, 72, 310-316.
36. Duncan, J. (1984). Selective attention and the organisation of visual information. *Journal of Experimental Psychology*, 114, 501-517.
37. Evert, D. L., McGlinchey-Berroth, R., Verfaellie, M., & Milberg, W. P. (2003). Hemispheric asymmetries for selective attention apparent only with increased task demands in healthy participants. *Brain and Cognition*, 53, 34-41.
38. Finger, S. (1996). Gustave Dax and the early history of cerebral dominance. *Archives of Neurology*, 53, 806-813.
39. Fox, M., Corbetta, M., Snyder, A., Vincent, J., & Raichle, M. (2006). Spontaneous neuronal activity distinguishes human dorsal and ventral attention systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103, 10046-10051.
40. Funnell, M. G., Corballis, P. M., & Gazzaniga, M. S. (1999). A deficit in perceptual matching in the left hemisphere of a callosotomy patient. *Neuropsychologia*, 37, 1143-1154.
41. Funnell, M. G., Corballis, P. M., & Gazzaniga, M. S. (2003). Temporal discrimination in the split brain. *Brain and Cognition*, 53, 218-22.

42. Gazzaniga, M. S. (2000). Cerebral specialization and interhemispheric communication: Does the corpus callosum enable the human condition? *Brain*, 7, 123, 1293-1326.
43. Geschwind, N., & Levitsky, W. (1968). Human brain: Left-right asymmetries in temporal speech region. *Science*, 161, 186-187.
44. Giesbrecht, B., & Kingstone, A. (2004). Right hemisphere involvement in the attentional blink: Evidence from a split-brain patient. *Brain and Cognition*, 55, 303-306.
45. Goodale, M. A. & Milner, A. D. (1992): Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neuroscience*, 15, 20-25.
46. Grabowska, A., & Nowicka, A. (1996). Visual-spatial-frequency model of cerebral asymmetry: A critical survey of behavioral and electrophysiological studies. *Psychological Bulletin*, 120, 434-449.
47. Grabowska, A., Nowicka, A., & Szatkowska, I. (1992). Asymmetry in visual evoked potentials to gratings registered in the two hemispheres of the human brain. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 52, 239-249.
48. Hahn, B., Ross, T., & Stein, E. (2006). Neuroanatomical dissociation between bottom-up and top-down processes of visuospatial selective attention. *Neuroimage*, 32, 842-853.
49. Harris, I. M., Benito, C. T., & Dux, P. E. (2010). Priming from distractors in rapid serial visual presentation is modulated by Image Properties and Attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 36, 1595-1608.
50. Hausmann, M., Ergun, G., Yazgan, Y., & Güntürkün, O. (2002). Sex differences in line bisection as a function of hand. *Neuropsychologia*, 40, 235-240.
51. Hausmann, M., Waldie, K. E., & Corballis, M. C. (2003). Developmental changes in line bisection: A result of callosal maturation? *Neuropsychology*, 17, 155-160.
52. Heilman, K. M., (1995). Attentional asymmetries. In R. J. Davidson & K. Hugdahl (Eds.), *Brain asymmetry*. Cambridge, MA: *The MIT Press*, 217-234.
53. Heinen, K., Ruff, C. C., Bjoertomt, O., Schenkluhn, B., Bestmann, S., Blankenburg, F., & Chambers, C. D. (2011). Concurrent TMS-fMRI reveals dynamic interhemispheric influences of the right parietal cortex during exogenously cued visuospatial attention. *The European Journal of Neuroscience*, 33, 991-1000.
54. Hellige, J. B. (1980). Effects of perceptual quality and visual field of probe stimulus presentation on memory search for letters. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 6, 639-651.

55. Hellige, J. B., Laeng, B., & Michimata, C. (2010). Processing asymmetries in the visual system. In K. Hugdahl & R. Westerhausen (Eds.), *The Two Halves of the Brain*. Cambridge, MA: *The MIT Press*. 379-415.
56. Hellige, J. B., & Michimata, C. (1989). Visual laterality for letter comparison: Effects of stimulus factors, response factors, and metacontrol. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 27, 441-444.
57. Hellige, J. B., & Webster, R. (1979). Right hemisphere superiority for initial stages of letter processing. *Neuropsychologia*, 17, 653-660.
58. Helton, W. S., Warm, J. S., Tripp, L. D., Matthews, G., Parasuraman, R., & Hancock, P. A. (2010). Cerebral lateralization of vigilance: A function of task difficulty. *Neuropsychologia*, 48, 1683-1688.
59. Hilkenmeier, F., Olivers, C. N., & Scharlau, I. (2012). Prior entry and temporal attention: Cueing affects order errors in RSVP. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 38, 180-190.
60. Holcombe, A. O., Nguyen, E. H. L., & Goodbourn, P. T. (2017). Implied reading direction and prioritization of letter encoding. *Journal of Experimental Psychology: General*, 146, 1420-1437.
61. Holländer, A., Corballis, M. C., & Hamm, J. P. (2005). Visual-field asymmetry in dual-stream RSVP. *Neuropsychologia*, 43, 35-40.
62. Holländer, A., Hausmann, M., Hamm, J. P., & Corballis, M. C. (2005). Sex hormonal modulation of hemispheric asymmetries in the attentional blink. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 11, 263-272.
63. Hommel, B., Kessler, K., Schmitz, F., Gross, J., Akyürek, E., Shapiro, K., & Schnitzler, A. (2006). How the brain blinks: Towards a neurocognitive model of the attentional blink. *Psychological Research*, 70, 425-435.
64. Hopfinger, J. B., Buonocore, M. H., & Mangun, G. R. (2000). The neural mechanisms of top-down attentional control. *Nature Neuroscience*, 3, 284-291.
65. Husain, M., & Rorden, C. (2003). Non-spatially lateralized mechanisms in hemispatial neglect. *Nature Reviews Neuroscience*, 4, 26-36.
66. Husain, M., Shapiro, K., Martin, J., & Kennard, C. (1997). Abnormal temporal dynamics of visual attention in spatial neglect patients. *Nature*, 385, 154-156.
67. Jäncke, L., Schlaug, G., & Steinmetz, H. (1997). Hand skill asymmetry in professional musicians. *Brain and Cognition*, 34, 424-432.
68. Jäncke, L., & Steinmetz, H. (1993). Auditory lateralization and planum temporale asymmetry. *NeuroReport*, 5, 169-172.

69. Jonsson, J. E., & Hellige, J. B. (1986). Lateralized effects of blurring: A test of the visual spatial frequency model of cerebral hemisphere asymmetry. *Neuropsychologia*, 24, 351-362.
70. Kihara, K., Ikeda, T., Matsuyoshi, D., Hirose, N., Mima, T., Fukuyama, H., & Osaka, N. (2011). Differential contributions of the intraparietal sulcus and the inferior parietal lobe to attentional blink: Evidence from transcranial magnetic stimulation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23, 247-256.
71. Kincade, J. M., Abrams, R. A., Astafiev, S. V., Shulman, G. L., & Corbetta, M. (2005). An Event-Related Functional Magnetic Resonance Imaging Study of Voluntary and Stimulus-Driven Orienting of Attention. *Journal of Neuroscience*, 25, 4593-4604.
72. Knecht, S., Dräger, B., Deppe, M., Bobe, L., Lohmann, H., Floel, A., Ringelstein, E. B., & Henningsen, H. (2000). Handedness and hemispheric language dominance in healthy humans. *Brain*, 123, 12, 2512-2518.
73. Kranczioch, C., Debener, S., Schwarzbach, J., Goebel, R., & Engel, A. K. (2005). Neural correlates of conscious perception in the attentional blink. *NeuroImage*, 24, 704-714.
74. Kranczioch, C., Lindig, A., & Hausmann, M. (2016). Sex hormones modulate neurophysiological correlates of visual temporal attention. *Neuropsychologia*, 91, 86-98.
75. Lavie, N. (1995). Perceptual load as a necessary condition for selective attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 451-468.
76. Lavie, N., & Dalton, P. (2014). Load theory of attention and cognitive control. In A. C. Nobre & S. Kastner (Eds.), *The Oxford Handbook of Attention*. Oxford: *Oxford University Press*.
77. Li, D., Rorden, C., & Karnath, H. O. (2017). "Nonspatial" attentional deficits interact with spatial position in neglect. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1-8.
78. Lichtheim, L. (1885a). On aphasia. *Brain*, 7, 433-484.
79. Luck, S. J., Hillyard, S. A., Mangun, G. R., & Gazzaniga, M. S. (1994). Independent attentional scanning in the separated hemispheres of split-brain patients. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 6, 84-91.
80. Luck, S. J., & Kappenman, E. S. (2012). ERP components and selective attention. In: Luck S. J., Kappenman, E. S. (Eds.), *The Oxford handbook of event-related potential components*. *Oxford University Press*, New York, 295-327.

81. Luders, E., Gaser, C., Jancke, L., & Schlaug, G. (2004). A voxel-based approach to gray matter asymmetries. *NeuroImage*, 22, 656-664.
82. Marois, R., Chun, M. M., & Gore, J. C. (2000). Neural correlates of the attentional blink. *Neuron*, 28, 299-308.
83. Martens, S., & Wyble, B. (2010). The attentional blink: Past, present, and future of a blind spot in perceptual awareness. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 34, 947-57.
84. Marzi, C. A., Bisiacchi, P., & Nicoletti, R. (1991). Is interhemispheric transfer of visuomotor information asymmetric? Evidence from a meta-analysis. *Neuropsychologia*, 29, 1163-1177.
85. Matthews, N., & Welch, L. (2015). Left visual field attentional advantage in judging simultaneity and temporal order. *Journal of Vision*, 15, 1-13.
86. Matthews, N., Welch, L., Festa, E., & Clement, A. (2013). Remapping time across space. *Journal of Vision*, 13, 1-15.
87. Meyen, J., Der Vorteil des linken visuellen Feldes bei schneller Reizpräsentation: Abhängig vom verwendeten Reizmaterial? Dissertation, *Universität zu Lübeck* (2016).
88. Moscovitch, M. (1986). Afferent and efferent models of visual perceptual asymmetries: Theoretical and empirical implications. *Neuropsychologia*, 24, 91-114.
89. Motter, B. C. (1993). Focal attention produces spatially selective processing in visual cortical areas V1, V2 and V4 in the presence of competing stimuli. *Journal of Neuropsychology*, 70, 909-919.
90. Murphy, D. G., DeCarli C, McIntosh A. R., & Daly E. (1996). Sex differences in human brain morphometry and metabolism: an in vivo quantitative magnetic resonance imaging and positron emission tomography study on the effect of aging. *Archives of General Psychiatry*, 53, 585-594.
91. Natale, E., Marzi, C. A., & Macaluso, E. (2010). Right temporal-parietal junction engagement during spatial reorienting does not depend on strategic attention control. *Neuropsychologia*, 48, 1160-1164.
92. Nicholls, M. E. (1996). Temporal processing asymmetries between the cerebral hemispheres: Evidence and implications. *Laterality*, 1, 97-137.
93. Nicholls, M. E., Gora, J., & Stough, C. K. (2002). Hemispheric asymmetries for visual and auditory temporal processing: an evoked potential study. *International Journal of Psychophysiology*, 44, 37-55.

94. Nobre, A. C., Sebestyen, G. N., Gitelman, D. R., Mesulam, M. M., Frackowiak, R. S., & Frith, C. D. (1997). Functional localization of the system for visuospatial attention using positron emission tomography. *Brain*, 120, 515–533.
95. O'Craven, K. M., Downing, P. E., & Kanwisher, N. (1999). fMRT evidence for objects as the units of attentional selection. *Nature*, 401, 584-587.
96. Okubo, M., & Nicholls, M. E. (2005). Hemispheric asymmetry in temporal resolution: Contribution of the magnocellular pathway. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12, 755-759.
97. Okubo, M., & Nicholls, M. E. R. (2008). Hemispheric asymmetries for temporal information processing: Transient detection versus sustained monitoring. *Brain and Cognition*, 66, 168-175.
98. Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97-113.
99. Olivers, C. N. L., & Meeter, M. (2008). A boost and bounce theory of temporal attention. *Psychological Review*, 115, 836-863.
100. Park, J., Chiang, C., Brannon, E. M., & Woldorff, M. G. (2014). Experience-dependent hemispheric specialization of letters and numbers is revealed in early visual processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 26, 2239-2249.
101. Park, J., Hebrank, A., Polk, T. A., & Park, D. C. (2012). Neural dissociation of number from letter recognition and its relationship to parietal numerical processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 24, 39-50.
102. Pérez, A., Peers, P. V., Valdés-Sosa, M., Galán, L., García, L., & Martínez-Montes, E. (2009). Hemispheric modulations of alpha-band power reflect the rightward shift in attention induced by enhanced attentional load. *Neuropsychologia*, 47, 41-49.
103. Pfeiffer, B. (1911). Zur Lokalisation der corticalen motorischen und sensorischen Aphasie und der ideokinetischen Apraxie. *Journal für Psychologie und Neurologie*, 18, 23-35.
104. Polich, J. (1978). Hemispheric differences in stimulus identification. *Perception & Psychophysics*, 24, 49-57.
105. Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 3-25.
106. Posner, M. I., Nissen, M. J., & Ogden, W. C. (1978). Attended and Unattended processing modes: The role of set for spatial location. In H. L. Pick, Jr. & I. J. Saltzman (Hrsg.) *Modes of perceiving and processing information*. Hillsdale, N. J.: Erlbaum.

107. Potter, M. C., & Levy, E. L. (1969). Recognition memory for a rapid sequence of picture. *Journal of Experimental Psychology*, 81, 10-15.
108. Ptito, A., Brisson, B., Dell'Acqua, R., Lassonde, M., & Jolicoeur, P. (2009). The attentional blink within and across the hemispheres: Evidence from a patient with a complete section of the corpus callosum. *Biological Psychology*, 82, 64-69.
109. Ransley, K., Goodbourn, P. T., Nguyen, E. H. L., Moustafa, A. A., & Holcombe, A.O. (2018). Reading direction influences lateral biases in letter processing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 44, 1678-1686.
110. Raymond, J. E., Shapiro, K. L., & Arnell, K. M. (1992). Temporary suppression of visual processing in an RSVP task: An attentional blink. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 849-860.
111. Rizzo, M., Akutsu, H., & Dawson, J. (2001). Increased attentional blink after focal cerebral lesions. *Neurology*, 57, 795-800.
112. Rösler, A. (2012). Buchstabenverarbeitung links, Aufmerksamkeit rechts? Beeinflussen Reizmaterial und Präsentationszeit den Linksfeldvorteil bei schneller Darbietung von Reizserien? Diplomarbeit. *Universität zu Kiel*.
113. Rogers, L. J., & Andrew, R. J. (2002). Comparative vertebrate lateralization. Cambridge, England: *Cambridge University Press*.
114. Rohenkohl, G., Gould, I. C., Pessoa, J., & Nobre, A. C. (2014). Combining spatial and temporal expectations to improve visual perception. *Journal of Vision*, 14, 1-13.
115. Scalf, P. E., Banich, M. T., Kramer, A. F., Narechania, K., & Simon, C. D. (2007). Double take: Parallel processing by the cerebral hemispheres reduces attentional blink. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33, 298-329.
116. Schall, J. D., & Hanes, D. P. (1993). Neural basis of saccade target selection in frontal eye field during visual search. *Nature*, 366, 467-469.
117. Schlaug, G., Jäncke, L., Huang, Y., & Steinmetz, H. (1995). In vivo evidence of structural brain asymmetry in musicians. *Science*, 267, 699-701.
118. Serences, J. T., & Kastner, S. (2014). A multi-level account of selective attention. In: Nobre, A. C., Kastner, S. (Eds.), *The Oxford handbook of attention*. *Oxford University Press*, Oxford, 76-104.
119. Sergent, J. (1983). The effects of sensory limitations on hemispheric asymmetries. *Canadian Journal of Psychology*, 37, 345-366.

120. Shapiro, K., Hillstrom, A. P., & Husain, M. (2002). Control of visuotemporal attention by inferior parietal and superior temporal cortex. *Current Biology*, 12, 1320-1325.
121. Shapiro, K. L., Raymond, J. E., & Arnell, K. M. (1994). Attention to visual pattern information produces the attentional blink in rapid serial visual presentation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 357-371.
122. Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Pugh, K. E., Constable, R. T., Skudlarski, P., Fulbright, R. K., et al. (1995). Sex differences in the functional organization of the brain for language. *Nature*, 373, 607-609.
123. Shulman, G. L., & Corbetta, M. (2012). Two attentional networks. Identification and function within a larger cognitive architecture. In M. I. Posner (Ed.), *Cognitive Neuroscience of Attention* (Second Edition). New York, London: Guilford Press, 113-128.
124. Shulman, G. L., Pope, D. L. W., Astafiev, S. V., McAvoy, M. P., Snyder, A. Z., & Corbetta, M. (2010). Right hemisphere dominance during spatial selective attention and target detection occurs outside the dorsal frontoparietal network. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 30, 3640-3651.
125. Siman-Tov, T., Mendelsohn, A., Schonberg, T., Avidan, G., Podlipsky, I., Pessoa, L., Gadoth, N., Ungerleider, L. G., & Hendler, T. (2007). Bihemispheric leftward bias in a visuospatial attention-related network. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 27, 11271-11278.
126. Singh-Curry, V., & Husain, M. (2009). The functional role of the inferior parietal lobe in the dorsal and ventral stream dichotomy. *Neuropsychologia*, 47, 1434-1448.
127. Śmigasiewicz, K., Asanowicz, D., Westphal, N., & Verleger, R. (2015). Bias for the left visual field in rapid serial visual presentation: Effects of additional salient cues suggest a critical role of attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 27, 266-279.
128. Śmigasiewicz, K., Hasan, G. S., & Verleger, R. (2016). Rebalancing spatial attention: Endogenous orienting may partially overcome the left visual field bias in rapid serial visual presentation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 29, 1-13.
129. Śmigasiewicz, K., Liebrand, M., Landmesser, J., & Verleger, R. (2017). How handedness influences perceptual and attentional processes during rapid serial visual presentation. *Neuropsychologia*, 100, 155-163.
130. Śmigasiewicz, K., Shalgi, S., Hsieh, S., Möller, F., Jaffe, S., Chang, C. C., & Verleger, R. (2010). Left visual-field advantage in the dual-stream RSVP task and reading-direction: A study in three nations. *Neuropsychologia*, 48, 2852-2860.

131. Śmigasiewicz, K., Weinrich, J., Reinhardt, B., & Verleger, R. (2014). Deployment and release of interhemispheric inhibition in dual-stream rapid serial visual presentation. *Biological Psychology*, 99, 47-59.
132. Śmigasiewicz, K., Westphal, N., & Verleger, R. (2017). Leftward bias in orienting to and disengaging attention from salient task-irrelevant events in rapid serial visual presentation. *Neuropsychologia*, 94, 96-105.
133. Springer, J. A., Binder, J. R., Hammeke, T. A., Swanson, S. J., Frost, J. A., Bellgowan, P. S., et al. (1999). Language dominance in neurologically normal and epilepsy subjects: A functional MRI study. *Brain*, 122, 2033-2046.
134. Steinmetz, H. (1996). Structure, functional and cerebral asymmetry: In vivo morphometry of the planum temporale. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 20, 587-591.
135. Steinmetz, H., Herzog, A., Schlaug, G., Huang, Y., & Jäncke, L. (1995). Brain (a)symmetry in monozygotic twins. *Cerebral Cortex* (New York, N.Y.), 5, 296-300.
136. Steinmetz, H., Volkman, J., Jäncke, L., & Freund, H. J. (1991). Anatomical left-right asymmetry of language-related temporal cortex is different in left- and right handers. *Annals of Neurology*, 29, 315-319.
137. Sturm, W., Reul, J., & Willmes K. (1989). Is there a generalized right hemisphere dominance for mediating cerebral activation? Evidence from a choice reaction experiment with lateralized simple warning stimuli. *Neuropsychologia*, 27, 747-751.
138. Sturm, W., & Willmes, K. (2001). On the functional neuroanatomy of intrinsic and phasic alertness. *NeuroImage*, 41, 76-84.
139. Sun, T., Collura, R. V., Ruvolo, M., & Walsh, C. A. (2006). Genomic and evolutionary analyses of asymmetrically expressed genes in human fetal left and right cerebral cortex. *Cerebral Cortex* (New York, N. Y.), 16, 18-25.
140. Sun, T., Patoine, C., Abu-Khalil, A., Visvader, J., Sum, E., Cherry, T. J., et al. (2005). Early asymmetry of gene transcription in embryonic human left and right cerebral cortex. *Science*, 308, 1794-1798.
141. Treisman, A. M. (1964). Selective attention in man. *British Medical Bulletin*, 20, 12-16.
142. Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97-136.
143. Ungerleider, L. D. & Mishkin, M. (1982): Two cortical visual systems. In: Ingle, D. J.; Goodale, M. D. & Mansfield, R. J. (Hg.): Analysis of visual behavior. *Cambridge, MIT Press*.

144. Vallar, G., & Perani, D. (1986). The anatomy of unilateral neglect after right hemisphere stroke lesions. A clinical CT-scan correlation study in man. *Neuropsychologia*, 24, 609-622.
145. Verleger, R., Dittmer, M., & Śmigasiewicz, K. (2013). Cooperation or competition of the two hemispheres in processing characters presented at vertical midline. *PLOS ONE*, 8, 1-10.
146. Verleger, R., & Śmigasiewicz, K. (2015). Consciousness wanted, attention found: Reasons for the advantage of the left visual field in identifying T2 among rapidly presented series. *Consciousness and Cognition*, 35, 260-273.
147. Verleger, R., Śmigasiewicz, K., & Möller, F. (2011). Mechanisms underlying the left visual-field advantage in the dual stream RSVP task: Evidence from N2pc, P3, and distractor-evoked VEPs. *Psychophysiology*, 48, 1096–1106.
148. Verleger, R., Sprenger, A., Gebauer, S., Fritzmannova, M., Friedrich, M., Kraft, S., & Jaśkowski, P. (2009). On why left events are the right ones: Neural mechanisms underlying the left-hemifield advantage in rapid serial visual presentation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21, 474-488.
149. Visser, T. A. W., Bischof, W. F., & Di Lollo, V. (1999). Attentional Switching in Spatial and Nonspatial Domains: Evidence from the Attentional Blink. *Psychological Bulletin*, 125, 458-469.
150. Vogel, E. K., & Luck, S. J. (2000). The visual N1 component as an index of a discrimination process. *Psychophysiology*, 37, 190-203.
151. Von Economo, C., & Horn, L. (1930). Über Windungsrelief, Maße und Rindenarchitektonik der Supratemporalfläche, ihre individuellen und ihre Seitenunterschiede. *Zeitschrift für Neurologie und Psychiatrie*, 130, 678-757.
152. Ward, R., Duncan, J., & Shapiro, K. (1996). The slow-time course of visual attention. *Cognitive Psychology*, 30, 79-109.
153. Weintraub, S., & Mesulam, M. (1989). Neglect: hemispheric specialization, behavioral components and anatomical correlates. In: Boller, F., Grafman, J. (Hrsg.), *Handbook of Neuropsychology*, Vol. 2, Amsterdam: Elsevier Science Publisher, 357-374.
154. Whitehead, R. (1991). Right hemisphere processing superiority during sustained visual attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 3, 329-334.
155. Wyble, B., Bowman, H., & Nieuwenstein, M. (2009). The attentional blink provides episodic distinctiveness: sparing at a cost. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35, 787-807.

156. Zaidel, E. (1983). Disconnection syndrome as a model for lateral effects in the normal brain. In J. B. Hellige (Ed.), *Cerebral Hemisphere Asymmetry: Method, Theory, and Application*, New York, NY. *Praeger Press*. 95-151.

7 Anhang



UNIVERSITÄT ZU LÜBECK

Universität zu Lübeck · Ratzeburger Allee 160 · 23538 Lübeck

Herrn
Prof. Dr. R. Verleger
Klinik für Neurologie

im Hause

Zur Vorlage bei der DFG

Ethik-Kommission

Vorsitzender:
Herr Prof. Dr. med. Dr. phil. H. Raspe
Stellv. Vorsitzender:
Herr Prof. Dr. med. F. Gieseler
Universität zu Lübeck
Ratzeburger Allee 160
23538 Lübeck

Sachbearbeitung: Frau Janine Erdmann
Tel.: +49 451 500 4639
Fax: +49 451 500 3026
janine.erdmann@medizin.uni-luebeck.de

Aktenzeichen: 11-198
Datum: 05. Oktober 2011

Antragsteller: Herr Prof. Verleger / Herr Prof. Dr. Münte

Titel: Rechtshemisphärischer Vorteil für Zielreizverarbeitung in schnellen Reizfolgen: Zur Rolle von Aufmerksamkeit, Emotion und zeitlicher Reihenfolge

Sehr geehrter Herr Prof. Verleger,

hiermit bestätige ich den Eingang Ihres Antrages an die Ethik-Kommission.

Nach meiner Ansicht bestehen gegenüber dem im Projekt beantragten Forschungsvorhaben (Experimente 1 bis 6 und 9) keine ethischen Bedenken. Das Votum der Eberhard Karls Universität Tübingen vom 02. September 2010 habe ich zur Kenntnis genommen.

Die Ethik-Kommission wird in allen ethischen Fragen ansprechbar sein.

Für Rückfragen stehe ich gerne zur Verfügung.

Mit freundlichem Gruß und besten Wünschen
für den weiteren Verlauf Ihrer Forschung bin ich

Ihr


Prof. Dr. med. Frank Gieseler
Stellv. Vorsitzender

Campus Lübeck

Unser Zeichen:

Ausgestellt:
Prof. Dr. Rolf Verleger, Dipl.-Psych.

Telefon: 0451 / 500 -2916
Telefax: 0451 / 500-2489
E-Mail: Rolf.Verleger@neuro.uni-luebeck.de

Datum: 16.02.2016

Teilnehmer-Aufklärung für EEG- Untersuchung

Von Frau/Herrn _____,

geboren am _____.

Sehr geehrte Studienteilnehmerin, sehr geehrter Studienteilnehmer,

Thema der Forschung in unserem EEG-Labor der Neurologischen Klinik ist, wie das Gehirn bei Wahrnehmung, Gedächtnis und Bewegungskontrolle funktioniert und wie demzufolge Ausfälle solcher Leistungen bei neurologischen Patienten erklärt werden können.

Als Mittel zur Untersuchung dienen uns ereignisbezogene Potentiale des EEG. Diese elektrischen Potentiale der Hirnrinde, ausgelöst bei der Wahrnehmung von Ereignissen und bei der Vorbereitung auf Handlungen, können von außen mit Elektroden an der Kopfhaut gemessen werden.

Für die Messung des EEGs setzen wir Ihnen eine Haube mit 64 Elektroden auf und reiben Gel (Hauptbestandteile: Kochsalz, Wasser) auf die Kopfhaut. Des Weiteren werden 5 Elektroden ins Gesicht geklebt, um Augenbewegungen zu registrieren. Dazu wird das Gesicht vorher mit Alkohol und einer Peelingpaste gereinigt. Wenn alle Elektroden angebracht sind, wird deren Übergangswiderstand zur Kopfhaut gemessen, um zu überprüfen, ob die Gehirnaktivität gut gemessen werden kann.

Das Gel kann in manchen Fällen Hautrötungen verursachen. Weitergehende Nebenwirkungen sind uns nicht bekannt.

Die Teilnahme an dieser Studie ist zu jedem Zeitpunkt freiwillig und kann ohne Bedingungen jederzeit, d.h. auch während der Messungen, durch den Versuchsteilnehmer beendet werden. Für die Durchführung der Untersuchung wurde keine eigene Versicherung abgeschlossen. Im Falle einer Schädigung haftet das Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Lübeck, nach den allgemeinen Haftungsgrundsätzen des Universitätsklinikums.

8 Danksagung

Abschließend möchte ich mich bei allen Personen recht herzlich bedanken, die mich bei der Anfertigung dieser Dissertation unterstützt haben.

Zunächst möchte ich mich bei Prof. Dr. Thomas F. Münte für die Möglichkeit der Anfertigung der Arbeit unter Verwendung aller Materialien in der von ihm geleiteten Klinik für Neurologie bedanken.

Ganz besonderer Dank gebührt Prof. Dr. Rolf Verleger, nicht nur für die Überlassung des Themas, sondern vor allem für seine ausgezeichnete Förderung. Seine rasche Beantwortung meiner zahlreichen Fragen, Hilfestellungen zum Verständnis der Theorie und fachlichen Anmerkungen stellen eine beispiellose Betreuung dar.

Auch für die Betreuung durch Dr. Dariusz Asanowicz und Dr. Kamila Śmigasiewicz bei der Anfertigung der Experimente und deren Analysen, möchte ich mich ausdrücklich bedanken.

Ich danke allen Versuchsteilnehmern, ohne sie wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Schließlich möchte ich auch meiner Familie und meinen Freunden danken, die mich durch alle Höhen und Tiefen des Studiums und der Dissertation begleitet haben.

9 Lebenslauf

Lena Kruse

geboren am 02.11.1990 in Lübeck



Schulbildung und Studium

Juni 2010	Allgemeine Hochschulreife, Gymnasium Johanneum zu Lübeck
2010-2017	Studium der Humanmedizin, Universität zu Lübeck
September 2012	Erster Abschnitt der ärztlichen Prüfung
12/2014 – 02/2015	Experimentelle Phase der Dissertation
April 2016	Zweiter Abschnitt der ärztlichen Prüfung
Juni 2017	Dritter Abschnitt der ärztlichen Prüfung

Publikationen dieser Arbeit

1. Asanowicz, D., Verleger, R., Kruse, L., Beier, K., & Śmigasiewicz, K. (2017). A right hemisphere advantage at early cortical stages of processing alphanumeric stimuli. Evidence from electrophysiology. *Brain and Cognition*, 113, 40-55.
2. Asanowicz, D., Kruse, L., Śmigasiewicz, K., & Verleger, R. (2017). Lateralization of spatial rather than temporal attention underlies the left hemifield advantage in rapid serial visual presentation. *Brain and Cognition*, 118, 54-62.