

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

Einfluss der Händigkeit auf den Vorteil des linken visuellen Halbfeldes bei schneller visueller Reizpräsentation

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

vorgelegt von
Johannes Landmesser
aus Burgwedel
Lübeck 2018

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

2. Berichterstatter: Priv. Doz. Dr. med. Mahdy Ranjbar

Tag der mündlichen Prüfung: 27.02.2019

Zum Druck genehmigt. Lübeck, den 27.02.2019

-Promotionskommission der Sektion Medizin-

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
1.1	HÄNDIGKEIT	1
1.2	VISUELLE AUFMERKSAMKEIT	5
1.3	RAPID SERIAL VISUAL PRESENTATION	8
1.4	VORTEIL DES LINKEN VISUELLEN HALBFELDES	10
1.5	EEG-KORRELATE FÜR DEN VORTEIL DES LINKEN VISUELLEN HALBFELDES	11
1.6	FRAGESTELLUNG	14
2	MATERIAL UND METHODEN	15
2.1	VERSUCHSPERSONEN	15
2.2	VERSUCHSAUFBAU	16
2.3	DISTRAKTOREN UND ZIELREIZE	16
2.4	VERSUCHSDURCHFÜHRUNG	19
2.5	EYETRACKER	19
2.6	EEG	20
2.7	VERARBEITUNG DER EEG-DATEN	21
2.8	ANALYSE DER EEG-KOMPONENTEN	23
2.9	ANALYSE DER ZIELREIZANGABEN	26
2.10	STATISTISCHE ANALYSE	27
3	ERGEBNISSE	29
3.1	IDENTIFIKATION DER ZIELREIZE	29
3.1.1	<i>Erster Zielreiz T1</i>	29
3.1.2	<i>Zweiter Zielreiz</i>	31
3.2	EVOZIERTE KOMPONENTEN	33
3.2.1	<i>N2pc</i>	33
3.2.2	<i>P3</i>	38
3.2.3	<i>Visuell evozierte Potenziale</i>	41
4	DISKUSSION	43
4.1	ERSTER ZIELREIZ - IDENTIFIKATION UND EVOZIERTE POTENZIALE	43
4.2	ZWEITER ZIELREIZ - IDENTIFIKATION UND EVOZIERTE POTENZIALE	44
4.3	VISUELL EVOZIERTE POTENZIALE	46
5	ZUSAMMENFASSUNG	51
6	LITERATURVERZEICHNIS	52
7	ANHANG	66
8	DANKSAGUNG	69
9	LEBENS LAUF	70

Abkürzungsverzeichnis

ANOVA	analysis of variance, Varianzanalyse
AUC	area under the curve, Fläche unter der Kurve
CSD	current source density
EEG	Elektroenzephalogramm
EKP	Ereigniskorrelierte Potenziale
FFA	fusiform facial area, fusiformes Gesichtsareal
fMRT	funktionelle Magnetresonanztomographie
fTCD	funktionelle transkraniale Dopplersonographie
hOEG	horizontales Elektroofokulogramm
LVH	linkes visuelles Halbfeld
N2pc	N2 posterior contralateral
n.s.	nicht signifikant
PCCR	pupil center corneal reflection
RSVP	rapid serial visual presentation, schnelle visuelle Reizpräsentation
RVH	rechtes visuelles Halbfeld
s.	siehe
SD	standard deviation, Standardabweichung
T1	target 1, erster Zielreiz
T2	target 2, zweiter Zielreiz
T1-N2pc	N2pc durch ersten Zielreiz evoziert
T2-N2pc	N2pc durch zweiten Zielreiz evoziert
T1-P3	P3 durch ersten Zielreiz evoziert
T2-P3	P3 durch zweiten Zielreiz evoziert
TMS	transkraniale Magnetstimulation
vEOG	vertikales Elektroofokulogramm
VEP	visuell evoziertes Potenzial/visuell evozierte Potenziale
VWFA	visual word form area, visuelles Wortform-Areal

1 Einleitung

In dieser Arbeit wird der Unterschied zwischen Links- und Rechtshändern bei der hemisphärischen Verarbeitung von visuellen Informationen bei schnell aufeinanderfolgender bilateraler visueller Präsentation von Reizen untersucht. Die Überflutung mit visuellen Informationen soll das Sehsystem an seine Kapazitätsgrenzen bringen und somit das Erkennen von Reizen in einem Strom von Distraktoren erschweren.

In der Einleitung wird im Folgenden ein Einblick in die Ursprünge der Händigkeit sowie in Unterschiede und Gemeinsamkeiten bei der Verarbeitung von kognitiven Reizen bei Rechts- und Linkshändern gegeben. Zusätzlich wird das Prinzip der visuellen Aufmerksamkeit und die Objektivierung mittels rapid serial visual presentation (RSVP) und Ableitung von EEG-Strömen erklärt. Wichtig sind hier insbesondere die Ableitung der ereigniskorrelierten Potenziale N2pc, P3 und VEP, weshalb diese im Verlauf erläutert werden. Zum Schluss werden die Fragestellung und Hypothesen dieser Arbeit besprochen.

1.1 Händigkeit

Die Händigkeit einer Person wird durch zwei Punkte definiert: die Präferenz der Person, eine Hand zu benutzen, und die Dominanz einer Hand im Vergleich zur anderen bei manuellen Tätigkeiten (McManus, 1996). Die Handpräferenz beschreibt die Vorliebe, eine Aufgabe mit einer bestimmten Hand auszuführen, auch wenn diese ungeeigneter als die andere Hand für diese Aufgabe sein sollte. Die Dominanz ist wiederum die Fähigkeit, mit einer Hand eine Aufgabe besser auszuführen als mit der anderen Hand (Chatagny *et al.*, 2013). Zur Bestimmung der Händigkeit werden in verschiedenen Fragebögen, wie *Edinburgh Handedness Inventory* (Oldfield, 1971), *Annett Handedness Questionnaire* (Annett, 1970) und *Waterloo Handedness Questionnaire* (Bryden, 1977), die Handpräferenz für alltägliche Tätigkeiten abgefragt und je nach Lateralisierungsindex in rechtshändig, linkshändig oder beidhändig eingeteilt.

Es gibt Hinweise, dass der Anteil der Linkshänder an der Bevölkerung stets geringer war als der Anteil der Rechtshänder. Indizien lassen vermuten, dass bereits der Hauptteil der circa 500.000 Jahre alten Hominiden des Mittelpleistozäns Rechtshänder waren. Vermutlich nutzten unsere Vorfahren eine Seite ihres Kiefers um Gegenstände oder Nahrung zu fixieren und diese mit ihrer ipsilateralen Hand zu bearbeiten. Streifungen an Backenzähnen

der Fossilien, die als Abnutzungsspuren für die Fixierung sprechen, befanden sich mehrheitlich an der rechten Zahnreihe und lassen somit eine mehrheitliche Rechtshändigkeit vermuten (Bermúdez de Castro, Bromage and Jalvo, 1988; Lozano *et al.*, 2009).

Höhlenzeichnungen in Form von Handnegativen vor 10.000 bis 35.000 Jahren im heutigen Frankreich und Spanien deuten ebenfalls auf eine Dominanz der Rechtshändigkeit hin. Während die dominante Hand das Werkzeug zum Verteilen der Farbe hielt, wurde die nichtdominante Hand als Schablone auf der Höhlenwand benutzt. Die Funde zeigten überwiegend Negative von linken Händen, was für eine Führung des Werkzeugs mit der rechten Hand als dominante Hand spricht. In einer Studie wurden die Malereien von Teilnehmern repliziert. Erstaunlicherweise war der prozentuale Anteil an Linkshändern fast identisch zum Anteil der historischen Negativbilder der rechten Hand und deutet somit auf eine ähnliche Händigkeitverteilung damals und heute hin (Faurie and Raymond, 2004).

Ein weiteres interessantes Beispiel für das Vorkommen von Linkshändern in der Vergangenheit ist die im Ötztal gefundene Gletschermumie Ötzi. Zu seiner 5300 Jahre alten Ausrüstung gehörten unter anderem zwei Pfeilspitzen: je eine von beiden von Rechts- und Linkshändern hergestellt (Mcmanus, 2009).

Erste Studien über Händigkeit gibt es bereits seit dem 17. Jahrhundert, in denen die Bibel und andere Schriften zu Handpräferenzen untersucht wurden (Perelle and Ehrman, 1994). Es wird vermutet, dass der Anteil der Linkshänder in der Geschichte stets zwischen 1 – 29,3 % schwankte (Hardyck and Petrinovich, 1977).

Heutzutage zeigen sich auch in der geographischen Verteilung von Linkshändern Unterschiede. So zeigen Studien über die Handpräferenz Variabilität für den Anteil der Linkshänder für das Werfen (5 – 25,9 %) (Raymond and Pontier, 2004) und das Schreiben (2,5 – 12,8 %) (Perelle and Ehrman, 1994), vermutlich durch biologische und kulturelle Einflüsse determiniert (Teng *et al.*, 1976; Willems *et al.*, 2014).

Erste Anzeichen für einen mehrheitlichen Anteil an Rechtshändern lassen sich bereits bei 10 Wochen alten Föten erkennen. Nur 15 % der untersuchten Föten bewegten ihren linken Arm häufiger als ihren rechten Arm (Hepper, McCartney and Shannon, 1998). Dies deutet zusätzlich auf eine genetische Komponente der Händigkeit mit asymmetrischer Entwicklung des motorischen Nervensystems in den Hemisphären hin.

Strukturelle und funktionelle Asymmetrien der Hemisphären treten bereits in frühen Entwicklungsphasen auf. So sind morphologische Asymmetrien schon bei Föten

festzustellen (Wada, Clarke and Hamm, 1975; Chi, Dooling and Gilles, 1977; Hering-Hanit *et al.*, 2001).

Erste Belege für Asymmetrien zwischen den Hemisphären lieferte eine Arbeit des französischen Arztes *Paul Broca* aus dem Jahr 1865 (Broca, 1865). *Broca* beobachtete bei einigen Patienten mit Aphasie, also Sprachstörung nach cerebralen Läsionen, eine begleitende Parese der rechten Körperhälfte. Da jeweils der kontralaterale¹ Motorcortex für die Motorik einer Körperhälfte verantwortlich ist, schloss *Broca* daraus, dass sich Regionen für die Verarbeitung der Sprache in der linken Hemisphäre befinden müssten (McManus, 2012). Eine geringe Anzahl zeigte jedoch nach rechtshemisphärischen Läsionen Sprachstörungen. Anfangs nahm man an, dass es sich bei diesen Personen um Linkshänder handeln müsse, da die Motorik der bevorzugten Hand und die Sprache in der gleichen Gehirnhälfte verarbeitet würden (Harris, 1991, 1993). Jedoch kam später heraus, dass Aphasie auch bei Linkshändern eher mit linkshemisphärischen Läsionen als mit rechtshemisphärischen Läsionen auftrat (Goodglass and Quadfasel, 1954; Ettliger, Jackson and Zangwill, 1956).

Die Beziehung zwischen Sprache und Händigkeit wurde seitdem weitreichend untersucht (Annett and Alexander, 1996; Pujol *et al.*, 1999; Deppe *et al.*, 2000; Corballis, 2003; Knecht *et al.*, 2003).

Tatsächlich ist bei Linkshändern die Sprachverarbeitung in 75 % in die linke Hemisphäre lateralisiert², während sie bei Rechtshändern zu 95 % rechtshemisphärisch stattfindet (Deppe *et al.*, 2000; Szaflarski *et al.*, 2002; Isaacs *et al.*, 2009). Passend dazu ist unter Linkshändern, obwohl bei den meisten eine linkshemisphärische Dominanz der Sprachverarbeitung besteht, ein höherer Anteil an bilateraler und rechtshemisphärischer Verarbeitung der Sprache als unter Rechtshändern zu finden (Pujol *et al.*, 1999; Szaflarski *et al.*, 2002). Interessanterweise konnte in einer fTCD³-Studie mit Analyse des Blutflusses festgestellt werden, dass mit steigendem Grad der Linkshändigkeit, gemessen durch den *Edinburgh Handedness Inventory*, auch die atypische Lateralisierungstendenz der Sprachfunktion in die rechte Hemisphäre steigt (Deppe *et al.*, 2000).

Ähnliches zeigt sich auch bei der Verarbeitung der visuell-räumlichen Aufmerksamkeit (s. 1.2), jedoch mit mehrheitlicher Dominanz der rechten Hemisphäre für Links- und Rechtshänder (Weintraub and Mesulam, 1987; Harvey, Milner and Roberts, 1995; Marshall *et al.*, 1997). Bei 95 % der Rechtshänder und 80 % der Linkshänder lateralisiert die

¹ Verlagerung auf entgegengesetzte Seite

² auf eine Seite (hier: Hemisphäre) verlagert

³ funktionelle transkranielle Dopplersonographie

Verarbeitung der visuell-räumlichen Aufmerksamkeit in die rechte Hemisphäre (A. Flöel *et al.*, 2005).

Umstritten ist weiterhin, ob es einen Zusammenhang zwischen linkshemisphärischer Lateralisierung der Sprache, rechtshemisphärischer Lateralisierung der visuellen Aufmerksamkeit und der Händigkeit gibt. Eine fMRT⁴-Studie mit Aufgaben zur Sprachproduktion und visuell-räumlichen Aufmerksamkeit fand keinen Zusammenhang zwischen der gegensätzlichen Lateralisierung dieser kognitiven Prozesse bei Rechtshändern. Bei Probanden mit stark ausgeprägter Linkshändigkeit wurde jedoch ein Zusammenhang festgestellt (Zago *et al.*, 2016). Dies würde implizieren, dass die Händigkeit Einfluss auf den Zusammenhang zwischen Lateralisierung von Sprache und visuell-räumlicher Aufmerksamkeit nimmt.

Auch ein direkter Einfluss der Händigkeit auf die räumliche Aufmerksamkeit lässt sich vermuten (Vogel, Bowers and Vogel, 2003). Dafür würde sprechen, dass in einer EEG-Studie von *Bareham et al.* die Lateralisierung bei einer räumlichen Ortungsaufgabe für akustische Stimuli für Rechts- und Linkshänder gegensätzlich verlief (Bareham *et al.*, 2015). *Liu et al.* fanden in einer fMRT-Studie zur intrinsischen Aktivität für Rechtshänder eine stärkere rechtshemisphärische Lateralisierungstendenz als für Linkshänder in der Inselregion und dem Gyrus angularis (Liu *et al.*, 2009). Diese Regionen werden mit der Verarbeitung der Aufmerksamkeit assoziiert (Corbetta and Shulman, 2002). Ein weiteres Indiz ist, dass bei einer fMRT-Studie an Linkshändern mit einer atypisch-rechtshemisphärischen Lateralisierung der Sprache die visuell-räumlichen Aufmerksamkeit kontralateral verarbeitet wurde (Cai, Van der Haegen and Brysbaert, 2013). Eine größere Variabilität in der Verarbeitung der Sprache bei Linkshändern könnte somit auch eine größere Variabilität bei der Lateralisierungstendenz der räumlichen Aufmerksamkeit bedeuten. Dies wiederum lässt vermuten, dass sich Links- und Rechtshänder bei der Verarbeitung von schnell visuell präsentierten Informationen unterscheiden.

Andere Studienergebnisse sprechen jedoch für eine unabhängige Lateralisierung von Sprache und räumlicher Aufmerksamkeit (Bryden, Hécaen and DeAgostini, 1983; Badzakova-Trajkov *et al.*, 2010). Bei einer fTCD-Studie von *Whitehouse et al.* lateralisierten die beiden kognitiven Prozesse bei einem Viertel der Versuchspersonen ohne funktionelle Nachteile in die gleiche Hemisphäre (Whitehouse and Bishop, 2009). Ähnliches war auch in anderen Studien für beide Händigkeitsgruppen zu finden. Trotz Lateralisierung von Sprache und Aufmerksamkeit in eine Hemisphäre zeigt sich bei der Verarbeitung von

⁴ funktionelle Magnetresonanztomographie

Aufmerksamkeit das gleiche Aktivierungsmuster wie bei entgegengesetzter Lateralisierung (Agnes Flöel *et al.*, 2005), jedoch mit schlechterer Leistung (Powell, Kemp and García-Finaña, 2012). Auch die Schwierigkeit einer Aufgabe gab keinen Hinweis auf Korrelation zwischen Sprach- und Aufmerksamkeitsverarbeitung (Rosch, Bishop and Badcock, 2012). Dies würde der Hypothese widersprechen, dass die Händigkeit die Verarbeitung der Aufmerksamkeit bei schneller visueller Reizpräsentation beeinflusst und sie sich somit bei Rechts- und Linkshändern unterscheidet.

1.2 Visuelle Aufmerksamkeit

Die visuelle Aufmerksamkeit ist der entscheidende Faktor zur Erkennung der Zielreize in einem Strom von schnell präsentierten Distraktoren in unserem Experiment. Aufmerksamkeit beschreibt dabei die bewusste oder unbewusste Fokussierung auf eine Information, während andere Informationen ausgeblendet werden (Goldstein, 2015). Nötig ist dies, da unser visuelles System nur eine begrenzte Kapazität zur Informationsverarbeitung hat und so versucht wird, wichtige aus unwichtigen Informationen heraus zu filtern (Chun, 2011).

Die Aufmerksamkeit kann dabei freiwillig und zielgerichtet gesteuert oder unfreiwillig und reizgerichtet durch einen auffälligen bzw. *salienten*⁵ Stimulus gelenkt werden (Corbetta and Shulman, 2002; Anderson, Laurent and Yantis, 2011). Als Beispiel soll hier ein Volleyballspiel am Strand dienen. Hier liegt der freiwillige und zielgerichtete Fokus des Spielers auf dem Ball. Fliegt nun eine Möwe in Augenhöhe über das Spielfeld, wird die Aufmerksamkeit unfreiwillig vom Ball auf diesen salienten Stimulus gelenkt und von diesem gebunden. Diese salienten Stimuli haben auffällige sensorische Merkmale, wie Farbe, Kontrast, Bewegung und wirken insbesondere dann, wenn sie diese Merkmale mit dem Ziel der Aufmerksamkeit teilen (Folk and Remington, 1998; Simons and Chabris, 1999). Je höher die Salienz eines Stimulus ist, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, die Aufmerksamkeit primär auf diesen zu richten.

Über die Jahre wurden viele Theorien zur Aufmerksamkeit entwickelt. Im Folgenden werden einige der wichtigsten vorgestellt.

Erste Experimente zur Aufmerksamkeit konzentrierten sich auf Aufgaben zum dichotischen Hören. Über einen Kopfhörer wurden Probanden gleichzeitig zwei verschiedene Signale im

⁵ von lat. salire - springen

Sinne von Mitteilungen präsentiert. Die Probanden sollten sich bei dieser *shadowing task* lediglich auf ein Signal konzentrieren und das andere ausblenden. Dabei zeigte sich, dass Probanden die ausgeblendeten Informationen nur zu geringen Anteilen wiedergeben konnten, wie zum Beispiel der Wechsel der wiedergebenden Stimme. Die zielgerichtete Aufmerksamkeit wird also nur durch einen salienten Reiz im Sinne von einzelnen Wörtern kurzzeitig unterbrochen (Anderson, 2013). *Cherry* beschrieb dies als *Cocktailparty-Phänomen*, eine Analogie zu einem Gespräch auf einer Feier bei sich unterhaltenden, umstehenden Personen (Cherry, 1953).

Broadbent erklärt in seiner *Filtertheorie* die Ergebnisse der Aufgaben zum dichotischen Hören mit einer frühen Selektion des Wahrgenommenen (Broadbent, 1958). Die Informationen werden auf Grund physikalischer Charakteristika selektiert, bevor die semantische Verarbeitung stattfindet. Eine modifizierte Version der *Filtertheorie* ist die *Dämpfungstheorie* von *Treisman* (Treisman, 1964), gemäß welcher die unwichtigen Informationen auf Grund ihrer physikalischen Charakteristika nicht direkt selektiert, sondern lediglich abgedämpft werden. Die Gegentheorie der späten Selektion formulierten *Deutsch und Deutsch*. Nach dieser erfolgt eine Selektion des Wahrgenommenen erst nach semantischer Aufarbeitung (Deutsch and Deutsch, 1963). Jedoch können diese Theorien zur frühen und späten Selektion das Phänomen nicht vollständig erklären. Vielmehr wird vermutet, dass eine Selektion aufgabenspezifisch an verschiedenen Punkten der Verarbeitung stattfindet (Ullman, 1984).

Die visuelle zielgerichtete Aufmerksamkeit ermöglicht es uns, schneller auf bestimmte Dinge zu reagieren. Dabei zu unterscheiden ist die ortsbasierte oder räumliche Aufmerksamkeit von der objektzentrierten Aufmerksamkeit. *Posner et al.* untersuchten in einem Experiment zur räumlichen Aufmerksamkeit, ob ein vorher präsentierter Hinweisreiz in der Region des erscheinenden Zielreizes die Reaktion auf den Zielreiz verbessert (Posner, J. Nissen and C. Ogden, 1978). Tatsächlich waren die Reaktionen schneller bei vorherigem Hinweis auf den richtigen Erscheinungsort des Zielreizes. Wie ein Scheinwerfer wird so die Aufmerksamkeit auf einen bestimmten Ort gelenkt. Zu dem gleichen Ergebnis kamen auch andere Experimente mit ähnlichem Versuchsaufbau (Eriksen and Hoffman, 1973; Posner, Snyder and Davidson, 1980). Die objektzentrierte Aufmerksamkeit beschreibt das Phänomen, dass sich unsere Reaktion bei Fokus auf einen Teil eines Objektes auf das ganze Objekt verbessert. In einem Experiment von *Egley et al.* wurden Probanden zwei Rechtecke präsentiert, in denen die Seiten innerhalb eines Rechtecks und zwischen beiden Rechtecken gleich weit voneinander entfernt waren (Egley, Driver and Rafal, 1994). Ein

Hinweisreiz erschien auf einer Seite eines Rechtecks, während der spätere Zielreiz auf einer beliebigen Seite erschien. Wie aus Experimenten zur räumlichen Aufmerksamkeit bekannt, reagierten die Probanden am schnellsten, wenn Zielreiz und Hinweisreiz an der gleichen Seite eines der Rechtecke erschienen. Interessanterweise zeigten sich die zweitschnellsten Reaktionszeiten bei Erscheinen des Zielreizes auf der anderen Seite des gleichen Rechtecks. Auch bei Unterbrechung des Objektes zeigt sich weiterhin dieser Effekt (Moore, Yantis and Vaughan, 1998). Dieses Phänomen wird als *Objektidentitätsvorteil* beschrieben.

1993 zeigten *Mangun et al.*, dass die kortikale Verarbeitung der visuellen Aufmerksamkeit zu einer verstärkten neuronalen Aktivierung des visuellen Kortex führt (Mangun, Hillyard and Luck, 1993). So wurde in weiteren Studien die primäre Sehrinde (Segment V1) als einer der Orte vermehrter Aktivierung bei visueller Aufmerksamkeit zuerst bei Makaken (Motter, 1993) und später bei Menschen (Gandhi, Heeger and Boynton, 1999) identifiziert. Hierbei kommt es zur retinotopen Aktivierung der Neurone bei Verschiebung der Aufmerksamkeit (Roelfsema, Lamme and Spekreijse, 1998). In manchen fMRT-Studien wurde diskutiert, ob die Aktivierung in der primären Sehrinde durch eine rückwärts projizierende Feedbackschleife stattfindet und nicht primär durch die Aufmerksamkeitsreaktion ausgelöst wird. Sichere Aktivierung zeigen sich dagegen in höheren visuellen Arealen. So gibt es vermehrte Aktivierungen in höheren Arealen mit Assoziation zur Gestalt- und Konturerkennung (Segment V2) (Motter, 1993), zur Farberkennung (Segment V4) (Moran and Desimone, 1985; Motter, 1994; Luck *et al.*, 1996), sowie zur Bewegungswahrnehmung (Segment V5) (Corbetta *et al.*, 1991; Treue and Maunsell, 1996; O'Craven *et al.*, 1997). Auch das frontale Augenfeld (Schall and Hanes, 1993) und weitere extrastriatale, dem visuellen System zugeordnete Areale, wie das fusiforme Gesichtsareal (FFA) zur Erkennung von Gesichtern, ließen sich so mit der visuellen Aufmerksamkeit in Verbindung bringen (Wojciulik, Kanwisher and Driver, 1998).

Diese Areale sind notwendig, um visuelle Informationen zu verarbeiten. Wie verschiedene Qualitäten einer visuellen Information, wie Farbe, Bewegung und Form kombiniert werden ist unbekannt und wird als *Bindungsproblem* bezeichnet (Damasio, 1989; Koch and Crick, 1994). *Treisman* versuchte das *Bindungsproblem* mit der *Merkmalsintegrationstheorie* zu erklären (Treisman and Gelade, 1980). Dieser zufolge wird anfangs die Aufmerksamkeit auf einzelne Merkmale einer visuellen Information gerichtet und aufgenommen. Diese werden nun mit den anderen Merkmalen kombiniert und gemeinsam verarbeitet, um letztendlich die visuelle Information als Gesamtbild wahrzunehmen.

Dass der Parietallappen bei der Merkmalsintegration und räumlichen Aufmerksamkeit von größter Bedeutung ist, zeigt sich bei Patienten mit *Balint-Syndrom* (Bálint and Harvey, 1995). Hier verlieren Personen nach Schädigung beider Parietallappen die räumliche Wahrnehmung sowie die Fähigkeit, mehr als ein Objekt im Raum wahrzunehmen. Von anderen Objekten werden spezielle Merkmale wie Bewegung oder Farbe des Objektes nicht mehr erkannt (Robertson, 2003). Es wird diskutiert, ob das Balint-Syndrom als Form des bilateralen Neglects anzusehen ist (Hendriks, 1994). Beim unilateralen Neglect kommt es bei der Schädigung der temporo-parietalen Region einer Hemisphäre zur Nichtbeachtung des kontralateralen visuellen Feldes sowie der kontralateralen Seite von Objekten (Vallar, 1998). Die Aufmerksamkeit beschränkt sich also lediglich auf den ipsilateralen Raum. Rechtshemisphärische Schädigungen zeigen dabei meist größere Defizite als linkshemisphärische Läsionen (Morrow and Ratcliff, 1988), was wiederum auf eine rechtshemisphärische Lateralisation einiger Prozesse zur Verarbeitung der räumlichen Aufmerksamkeit hindeutet. Vor allem für die Verarbeitung globaler Merkmale zeigen sich Lateralisationstendenzen zur rechten Hemisphäre (Robertson and Rafal, 1999).

Der temporo-parietale Cortex spielt auch in *Corbetta und Shulmans* Aufteilung in ein dorsales und ventrales Aufmerksamkeitsnetzwerk eine besondere Rolle. Im Gegensatz zum dorsalen Aufmerksamkeitsnetzwerk, lokalisiert im frontalen und intraparietalen Cortex und zuständig für Prozesse der zielgerichteten Aufmerksamkeit, ist das ventrale Netzwerk, lokalisiert im temporo-parietalen und inferioren frontalen Cortex und zuständig für die Verarbeitung unerwarteter salienter Stimuli, nicht bilateral, sondern vor allem rechtshemisphärisch lateralisiert (Corbetta and Shulman, 2002).

1.3 Rapid Serial Visual Presentation

Für die Untersuchung der zeitlichen Dimension der visuellen Aufmerksamkeit eignen sich Aufgaben mit schnell aufeinanderfolgender Präsentation visueller Stimuli. Der Proband soll alle Stimuli, beziehungsweise einen oder mehrere Zielreize, aus einem Strom von Distraktoren wiedergeben. Die Zielreize heben sich durch Verwendung von Zahlen statt Buchstaben oder durch die Verwendung einer anderen Farbe als saliente Stimuli von den übrigen Distraktoren ab (Shapiro, Raymond and Arnell, 1994). Neben Buchstaben und Zahlen wurden zum Beispiel auch Wörter (Luck, Vogel and Shapiro, 1996; Barnard *et al.*, 2004), Bilder (Potter, 1976; Evans and Treisman, 2005) oder Symbole (Chun and Potter, 1995) als visuelle Reize in RSVP-Experimenten verwendet. Durch die Präsentation von

Stimuli an räumlich gleicher Position soll der Fokus auf die zeitliche Dimension gelenkt werden. Die Präsentation erfolgt mit sehr geringem zeitlichen Abstand im Bereich von 100 ms, um die Reizverarbeitung an ihre Kapazitätsgrenzen zu bringen und Einblicke in Analyse und Codierung der visuellen Informationen zu ermöglichen (Chun and Potter, 1995; Isaak, Shapiro and Martin, 1999; Martens and Wyble, 2010).

Bei der Verwendung von einem Zielreiz in einem Strom von Distraktoren sind die Identifikationsraten für den Zielreiz relativ hoch (Lawrence, 1971). Wird der Versuchsperson 200 ms bis 500 ms nach dem ersten Zielreiz (T1) ein zweiter Zielreiz (T2) präsentiert, so wird der zweite Zielreiz deutlich schlechter identifiziert als der erste Zielreiz (Broadbent and Broadbent, 1987; Weichselgartner and Sperling, 1987; Raymond, Shapiro and Arnell, 1992). Der Unterschied zwischen den Identifikationsquoten nähert sich umso weiter an, je mehr Zeit verstreicht. *Raymond et al.* bezeichneten diesen Effekt in Analogie zum Augenblinzeln als *attentional blink* (Raymond, Shapiro and Arnell, 1992).

Erstaunlicherweise zeigt sich in der Zeit vor Auftreten des *attentional blink* kein Defizit für die Identifikation von T2 (Visser, Bischof and Di Lollo, 1999; Wyble, Bowman and Nieuwenstein, 2009). Die Präsentation eines salienten ersten Zielreizes scheint kurzzeitig die Aufmerksamkeit für weitere Reize zu verbessern (Chua, Goh and Hon, 2001). Dieses als *lag-1-sparing* bezeichnete Phänomen tritt auch dann auf, wenn zwischen den Zielreizen ein Distraktor präsentiert wird (Nieuwenhuis *et al.*, 2005; Bowman and Wyble, 2007).

Nieuwenhuis et al. bringen dieses Phänomen mit dem Locus-coeruleus-Noradrenalin-System in Verbindung. Durch die Präsentation eines salienten Reizes komme es im Locus coeruleus zur vermehrten Ausschüttung von Noradrenalin. Dies führe einen Vorteil bei der Identifikation von Stimuli entsprechend dem *lag-1-sparing* herbei. Durch die darauffolgende Refraktärzeit sinkt das Noradrenalin und damit der Identifikationsvorteil entsprechend dem *attentional blink* (Nieuwenhuis *et al.*, 2005). Die Ursachen für den *attentional blink* sind nicht vollständig geklärt und werden weiterhin diskutiert. In früheren Theorien ging man vom Erreichen der Begrenzung der zentralen Verarbeitungskapazität durch Prozessierung des ersten Zielreizes aus. Der zweite Zielreiz könnte daraufhin nicht verarbeitet und die Informationen nicht ins Arbeitsgedächtnis übertragen werden (Chun and Potter, 1995; Isaak, Shapiro and Martin, 1999; Jolicoeur, 1999; Dehaene, Sergent and Changeux, 2003). Neuere Studien zeigen, dass dies lediglich einen Teil des *attentional blink* erklärt und die Mechanismen weitaus komplexer sind. So scheinen auch spätere Verarbeitungsprozesse eine entscheidende Rolle zu spielen (Martens and Wyble, 2010).

1.4 Vorteil des linken visuellen Halbfeldes

Interessante Ergebnisse zeigen sich, wenn anstelle von einem Reizstrom zwei Reizströme präsentiert werden. Die Ströme erscheinen jeweils rechts und links von einem Fixationspunkt. Dabei wird das visuelle Feld in ein linkes und ein rechtes Halbfeld aufgeteilt. Auch hier zeigt sich die Effekte des *attentional blink* und *lag-1-sparing*: Die Identifikationsquote des zweiten Zielreizes ist abhängig vom zeitlichen Abstand zum ersten Zielreiz. Zusätzlich wird bei Erscheinen auf der Seite des ersten Zielreizes T2 besser identifiziert als bei Präsentation der beiden Zielreize auf verschiedenen Seiten. Mit steigendem zeitlichen Abstand beider Zielreize sinkt jedoch der Unterschied zwischen den Identifikationsquoten für gleichzeitige und bilaterale Präsentation der Zielreize (Breitmeyer *et al.*, 1999; Wyble, Bowman and Potter, 2009).

Holländer et al. stellten weiterhin fest, dass der zweite Zielreiz besser identifiziert wurde, wenn dieser auf der linken Seite erschien (Holländer, Corballis and Hamm, 2005). Dieser Vorteil des linken visuellen Halbfeldes (LVH) konnte in weiteren Experimenten bestätigt werden (Holländer *et al.*, 2005; Verleger *et al.*, 2009, 2010; Verleger, Śmigasiewicz and Möller, 2011; Asanowicz, Smigasiewicz and Verleger, 2013). Die Verwendung eines infrarot Eyetrackers zeigte, dass der Vorteil des LVH nicht durch vermehrte Augenbewegung in Richtung des linken Stimulusstroms verursacht wird (Verleger *et al.*, 2009). Ebenso wenig wird er durch die Verwendung verschiedener Stimuli, wie Gesichter oder Formen verändert. Die Verarbeitung von Buchstaben als Stimuli scheint also nicht zu einer höheren linkshemisphärischen Beanspruchung durch Verarbeitung im linkshemisphärisch lokalisierten Sprachzentrum zu führen (Asanowicz, Smigasiewicz and Verleger, 2013). Auch die Leserichtung von links nach rechts gegenüber umgekehrter Leserichtung oder dem Lesen von oben nach unten scheint nur geringen Einfluss auf den Vorteil des LVH zu haben (Smigasiewicz *et al.*, 2010). *Verleger et al.* stellten in einer RSVP-Studie mit transkranieller Magnetstimulation (TMS) fest, dass sich bei parallel zur Aufgabe gegebener rechtshemisphärisch inhibitorischer TMS der Vorteil des LVH nicht veränderte, während sich bei paralleler linkshemisphärischer TMS des posterioren parietalen Cortex der Vorteil sogar noch vergrößerte. Dies würde für eine gegenüber der rechten Hemisphäre eingeschränkte linkshemisphärische Verarbeitungskapazität bei Aufmerksamkeitsprozessen unter externen Einflüssen sprechen (Verleger *et al.*, 2010). In neueren Studien wird der Vorteil des LVH einer rechtshemisphärischen Dominanz bei der Verarbeitung von Aufmerksamkeitsprozessen und hier speziell für die Verarbeitung von

reizgerichteter Aufmerksamkeit zugeordnet (Corbetta and Shulman, 2002; Śmigasiewicz *et al.*, 2015; Śmigasiewicz, Westphal and Verleger, 2017b).

Śmigasiewicz *et al.* präsentierten bei RSVP-Aufgaben ihren Probanden kurz vor Erscheinen des zweiten Zielreizes einen salienten Hinweisreiz (Śmigasiewicz *et al.*, 2015; Śmigasiewicz, Westphal and Verleger, 2017b). Dieser erschien auf gleicher Seite, auf dem Fixationspunkt oder auf der anderen Seite vom zweitem Zielreiz. Bei Erscheinen von zweitem Zielreiz und Hinweisreiz auf gleicher Seite war der Vorteil des LVH kaum festzustellen. Durch die Präsentation des Hinweisreizes schien also keine weitere Verlagerung der Aufmerksamkeit zur Erkennung des zweiten Zielreizes nötig zu sein. Der Vorteil des LVH zeigte sich, wenn T2 und Hinweisreiz auf unterschiedlichen Seiten erschienen oder der Hinweisreiz über dem Fixationspunkt präsentiert wurde. Bei Erscheinen auf unterschiedlichen Seiten war der Vorteil sogar noch größer als bei Präsentation des Hinweisreizes über dem Fixationspunkt. Möglicherweise wird die Aufmerksamkeit einfacher zu linken als zu rechten salienten Hinweisreizen gelenkt oder das Lösen der Aufmerksamkeit von linken Hinweisreizen ist schwieriger als von rechten Hinweisreizen (Śmigasiewicz, Westphal and Verleger, 2017b). Die Ergebnisse sind somit auch vereinbar mit der Einteilung in Aufmerksamkeitsnetzwerke von Corbetta & Shulman (Corbetta and Shulman, 2002). Das rechtshemisphärisch lateralisierte ventrale Netzwerk ist hier analog zu den Hinweisreizen aus den Experimenten von Śmigasiewicz *et al.* für die Verarbeitung von salienten unerwarteten Stimuli verantwortlich.

1.5 EEG-Korrelate für den Vorteil des linken visuellen Halbfeldes

Zur Untersuchung der Hemisphärenasymmetrie bei Aufmerksamkeitsprozessen werden zusätzlich zur Identifikationsquote bei RSVP-Experimenten bildgebende Methoden verwendet, um die Prozesse zu objektivieren. Neben Positronenemissionstomographie (Corbetta *et al.*, 1993; Nobre *et al.*, 1997), funktioneller Magnetresonanztomographie (Powell, Kemp and García-Finaña, 2012; Zago *et al.*, 2016) und transkranieller Farbduplexsonographie (Whitehouse and Bishop, 2009) zeigte sich die Elektroenzephalographie (EEG) aufgrund ihrer hohen zeitlichen Auflösung als gut geeignet. Beim EEG werden nach Platzierung von Elektroden die Spannungsschwankungen über der Kopfhaut ausgehend von der Aktivität corticaler Nervenzellen gemessen (Nunez and Srinivasan, 2007). Veränderungen dieser Spannungen, die auf einen Stimulus folgen oder einem Ereignis zugeordnet werden können, werden ereigniskorrelierte Potenziale genannt

(Luck and Kappenman, 2013). Bestimmte ereigniskorrelierte Potenziale konnten bereits in früheren Experimenten mit der aufmerksamkeitsbezogenen Hemisphärenasymmetrie sowie dem Vorteil des LVH in Verbindung gebracht werden und werden auch in dieser Arbeit untersucht (Pesciarelli *et al.*, 2007; Verleger *et al.*, 2009, 2010; Verleger, Śmigasiewicz and Möller, 2011; Asanowicz, Smigasiewicz and Verleger, 2013; Śmigasiewicz, Westphal and Verleger, 2017a).

Eines dieser Potenziale ist die P3, P3b oder P300. Der Name dieser Potenzialkomponente stammt von der dritten größeren positiven Amplitude nach Stimuluspräsentation und erreicht seinen Spitzenwert circa zwischen 250 ms und 500 ms (Polich, 2007). Die höchsten P3-Amplituden können über dem Parietallappen gemessen werden. Ausgelöst wird P3 durch seltene, unerwartete relevante Ereignisse (Pritchard, 1981) wie in unserem Fall die Präsentation eines Zielreizes, der sich von einem Strom von Distraktoren abhebt. Dabei wird P3 nur dann ausgelöst, wenn der auslösende Zielreiz identifiziert wurde (Rolke *et al.*, 2001; Kranczoch, Debener and Engel, 2003; Sessa *et al.*, 2007). P3 wird assoziiert mit der Aktualisierung des Arbeitsgedächtnisses und der Festigung von neuen Informationen in diesem (Donchin, 1981; Donchin and Coles, 1988; Polich, 2007). Luck und Vogel stellten in einer Studie fest, dass ein zweiter Zielreiz im Zeitraum des *attentional blink* kein P3 auslöste. Sie schlossen daraus, dass während des *attentional blink* die Festigung der Information im Arbeitsgedächtnis nicht möglich sei (Vogel and Luck, 2002). Jedoch zeigt eine andere Studie, dass auch bei Präsentation von T2 während des *attentional blink* P3-Amplituden evoziert werden (Kranczoch, Debener and Engel, 2003). Verleger *et al.* interpretierten P3 eher als Bindeglied zwischen der Auswertung des Wahrgenommenen und der Vorbereitung einer Antwort auf diesen Reiz (Verleger, Jaśkowski and Wascher, 2005). In RSVP-Studien zum Vorteil des LVH gab es keine Unterschiede für P3 bei links oder rechts präsentiertem ersten Zielreiz (Verleger, Śmigasiewicz and Möller, 2011; Śmigasiewicz *et al.*, 2015; Śmigasiewicz, Westphal and Verleger, 2017a). Beim zweiten Zielreiz zeigen sich jedoch höhere P3-Spannungsamplituden bei linkem T2 als bei rechtem T2, was möglicherweise auf eine bessere Wahrnehmung im linken visuellen Halbfeld hindeutet (Craston *et al.*, 2009).

Als weitere Komponente gilt die von Luck und Hillyard erstmals beschriebene Komponente N2pc (Luck and Hillyard, 1994). Sie wird als negativer Spannungsgipfel über dem temporo-posterioren Cortex kontralateral zum präsentierten und wahrgenommenen Zielreiz abgeleitet (gleichzeitig mit der großen N2-Komponente an der Kopfhaut-Mittellinie, daher der Name "N2pc"). Im Gegensatz zur P3 lässt sich die N2pc nur lateral über den

Hemisphären und bei Präsentation von zwei Strömen aus Distraktoren und Zielreizen messen. Hierfür wird eine Differenz zwischen den Spannungsdaten der kontra- und ipsilateral zum Zielreiz gelegenen Elektroden gebildet (Luck, Fan and Hillyard, 1993; Eimer, 1996). N2pc wird mit der aktiven Auswahl und Identifikation relevanter Reize in Verbindung gebracht (Eimer, 1996; Liu *et al.*, 2016). Andere Autoren gehen eher von einem Filtermechanismus aus, der unbedeutende von bedeutenden Reizen trennt (Luck and Hillyard, 1994; Luck *et al.*, 1996). Wie bei der P3-Komponente gab es in früheren Studien auch bei N2pc keinen Unterschied bei Erscheinen des ersten Zielreizes im linken oder rechten visuellen Halbfeld. Wird N2pc jedoch vom zweiten Zielreiz evoziert, so erscheint die Komponente früher bei links präsentierten als bei rechts präsentierten Zielreizen. Möglicherweise zeigt sich hier ein rechtshemisphärischer Vorteil bei der Selektion des relevanten Stimulus (Verleger *et al.*, 2009; Verleger, Śmigasiewicz and Möller, 2011; Verleger, Dittmer and Smigasiewicz, 2013; Śmigasiewicz *et al.*, 2015).

Als drittes EKP werden in dieser Arbeit die visuell evozierten Potenziale (VEP) untersucht. Diese werden nicht nur wie P3 und N2pc zielreizbezogen, sondern auch von anderen optischen Reizen wie den Distraktoren evoziert. Dies ermöglicht einen Hemisphärenvergleich bei der allgemeinen Verarbeitung visueller Stimuli. Die VEP werden direkt nach Beginn des Stimulusstroms abgeleitet und bestehen aus einer positiven Spannungsamplitude (P1) gefolgt von einer negativen Amplitude (N1) (Verleger, Śmigasiewicz and Möller, 2011; Verleger, Dittmer and Smigasiewicz, 2013; Śmigasiewicz *et al.*, 2014). Die Ableitung erfolgt über der Sehrinde am temporo-occipitalen Cortex. Neben der Forschung haben sie auch eine wichtige Bedeutung in der klinischen Diagnostik. Eine Vergrößerung der Latenz kann so auf eine Demyelinisierung der Sehnerven im Rahmen einer Multiplen Sklerose hindeuten. In den bisherigen RSVP Experimenten, mit rechtshändigen Probanden, zeigten sich Latenzunterschiede zwischen beiden Hemisphären. VEP waren über der rechten Hemisphäre eher sichtbar als über der linken Hemisphäre. Dies könnte auf einen allgemeinen Vorteil der Hemisphäre bei der Wahrnehmung und frühen Verarbeitung visueller Reize hindeuten (Verleger, Śmigasiewicz and Möller, 2011; Asanowicz *et al.*, 2017).

1.6 Fragestellung

In dieser Arbeit wird der Einfluss der Händigkeit auf den Vorteil des linken visuellen Halbfeldes untersucht. Dafür werden Links- und Rechtshänder zwei parallelen Strömen von visuellen Reizen im rechten und linken visuellen Halbfeld ausgesetzt. In diesen Strömen erscheinen neben den als Distraktoren dienenden schwarzen Buchstaben ein blauer Buchstabe als erster Zielreiz (T1) sowie eine später präsentierte schwarze Zahl als zweiter Zielreiz (T2). Ziel ist die Identifikation beider Zielreize. Parallel zum Experiment wird ein EEG der Probanden mit den Komponenten P3, N2pc und VEP abgeleitet. Neben besseren Identifikationsquoten bei Erscheinen des zweiten Zielreizes im linken Stimulusstrom gab es auch Hinweise für einen rechtshemisphärischen Vorteil für Wahrnehmung und Verarbeitung von T2 bei den EEG-Komponenten. Durch den Ausschluss von Linkshändern bei früheren RSVP-Experimenten sind die Informationen über den Vorteil des LVH auf Rechtshänder beschränkt. Daher untersucht diese Arbeit folgende Fragestellungen.

1. Wie beeinflusst die Händigkeit den Vorteil des linken visuellen Halbfeldes?
2. Welche Unterschiede zeigen sich bei EEG-Komponenten in RSVP Experimenten zwischen Links- und Rechtshändern?

Eine größere Variabilität in der Verteilung von zentralen Prozessen wie der Sprachverarbeitung lassen Unterschiede zwischen Links- und Rechtshändern bei der Verarbeitung von Prozessen zur visuellen Aufmerksamkeit und somit auch beim Vorteil des LVH vermuten.

2 Material und Methoden

In dieser Arbeit wurden EEG-Daten während schneller visueller Reizpräsentation von Linkshändern erhoben und untersucht. Für den Vergleich zwischen Links- und Rechtshändern wurden zusätzlich zu den hier erhobenen Daten die Daten des zweiten Teilexperiments der Inauguraldissertation von Matthias Liebrand, Lübeck 2014 verwendet (Liebrand, 2014). Die Datenverarbeitung war in beiden Fällen identisch.

2.1 Versuchspersonen

An dem Versuch nahmen insgesamt 20 linkshändige Personen für einen Stundenlohn von 8 Euro teil. Um solche Probanden zu finden, wurde das Studienangebot über E-Mailverteiler der Universität zu Lübeck und der Fachhochschule Lübeck verschickt und über soziale Netzwerke verbreitet. 4 Versuchspersonen wurden nachträglich ausgeschlossen. Bei 3 von ihnen wurden zu starke Augenbewegungen festgestellt (siehe 2.7). Bei der vierten Person war die Trefferquote für den ersten Zielreiz mit 44% für die Analyse zu gering.

Die übrigen 16 Versuchspersonen waren zwischen 19 und 32 Jahren alt (\bar{x} = 25 Jahre, SD = 3). Von diesen waren 9 männlich und 7 weiblich. 13 von ihnen verwendeten Sehhilfen um eine normale Sehkraft zu erreichen. Bis auf eine Ärztin waren alle Versuchsteilnehmer Studierende der Universität zu Lübeck oder der Fachhochschule Lübeck, so dass der niedrigste Bildungsgrad das Abitur und der höchste die Approbation war.

Alle Teilnehmer bestätigten ihre neurologische Gesundheit und unterzeichneten eine Einverständniserklärung über ihre freiwillige Teilnahme, sowie eine Aufklärung über die EEG-Studie. Sie füllten das Edinburgh Handedness Inventory aus (Oldfield, 1971). Dieser Fragebogen ermöglicht eine Einschätzung der Händigkeit der Versuchspersonen. Die Auswertung bestätigte, dass alle Versuchspersonen Linkshänder waren (\bar{x} = -77 Punkte, SD = 30,1).

Bei den Rechtshändern blieben nach Ausschluss von einer Versuchsperson auf Grund von Augenbewegungen und einer weiteren wegen zu hoher Artefaktwerte in den EEG-Daten 16 Versuchsteilnehmer. Es waren 11 Frauen und 5 Männer zwischen 21 und 33 Jahren (\bar{x} = 25 Jahre), darunter 14 Studierende der Universität zu Lübeck, ein Doktorand der Physik und ein Zahntechniker (Liebrand, 2014).

2.2 Versuchsaufbau

Der Versuch wurde in einem 15 m² großen abgedunkelten Raum durchgeführt. Die Versuchsperson saß auf einem Sessel mit gepolsterten Armlehnen und hoher Kopflehne. Die Füße konnten, sofern sie nicht den Boden erreichten, auf einem Koffer platziert werden. An der rechten Lehne war ein ausschwenkbares Tablett befestigt, auf dem die Versuchsperson vor dem Versuch ihre Einverständniserklärung ausfüllte und auf dem sich während des Versuchs eine Computertastatur zur Eingabe der Zielreize befand. Bei der Tastatur handelte es sich um eine weiße QWERTZ T2 Tastatur. 120 cm vor dem Versuchsteilnehmer befand sich ein 17 Zoll Röhrenmonitor mit einer Bildwiederholungsrate von 100 Hz. Der Bildschirmhintergrund war weiß mit einer Leuchtdichte von 120 cd/m². Dies wurde mit dem LXcan Leuchtdichtenmesser von Scanditronix aus Schwarzenbruck, Deutschland ermittelt. Unter dem Monitor wurde mittels Standfuß ein „Eyetracker“ (siehe 2.5) zur Verfolgung der Augenbewegungen platziert. Es wurde das Eyegaze Analysis System der Firma LC Technologies Inc aus Fairfax, USA verwendet.

2.3 Distraktoren und Zielreize

In dem Experiment wurden die Versuchspersonen einem Strom von Distraktoren und Zielreizen ausgesetzt, in dem die Zielreize erkannt und nach jedem Durchgang per Tastatur eingegeben werden sollten. Wie im zweiten Teilexperiment der Inauguraldissertation von M. Liebrandt wurden zur direkten Vergleichbarkeit der Daten als Distraktoren außer den Buchstaben H und W sämtliche Großbuchstaben des Alphabets in der Farbe schwarz verwendet (A, B, C, D, E, F, G, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, X, Y, Z). Als Zielreize gab es jeweils 6 verschiedene Möglichkeiten. Einerseits sollte die Chance minimiert werden die Zielreize zu erraten, weshalb möglichst viele Zielreize verwendet wurden. Andererseits sollte die Aufgabe möglichst simpel gestaltet werden. Daher durften nicht zu viele Möglichkeiten gegeben sein. Zusätzlich ermöglichte die Position der ersten Zielreize auf der Mittelreihe der Tastatur eine unkomplizierte Eingabe (Verleger *et al.*, 2010). Der erste Zielreiz T1 erschien als einer der Großbuchstaben D, F, G, J, K oder L in der Farbe Blau. Der darauffolgende zweite Zielreiz T2 wurde als eine der Ziffern 1, 2, 3, 4, 5 oder 6 in schwarz präsentiert. Die Auswahl der beiden Zielreize war in jedem Durchgang zufällig.

Die Distraktoren erschienen jeweils zu beiden Seiten eines roten Kreuzes. Erschien ein Zielreiz auf einer Seite des Kreuzes, so wurde auf der anderen Seite ein Distraktor gezeigt. Der Abstand vom inneren Rand der Großbuchstaben bis zum Kreuz betrug jeweils 10 mm ($0,5^\circ$). Die Distraktoren und Zielreize hatten dabei eine Größe von 8,5 mm x 11 mm ($0,4^\circ \times 0,5^\circ$). Jedes Paar aus zwei Distraktoren oder Distraktor und Zielreiz wurde für 130 ms auf dem Bildschirm gezeigt, so dass sich eine Stromfrequenz von etwa 7,7 Stimuluspaaren pro Sekunde ergab.

Ein Durchgang startete mit dem Erscheinen eines roten Kreuzes auf dem Bildschirm für 800 ms. Dieses war im Zentrum des Bildschirms lokalisiert mit einer Leuchtdichte von 24 cd/m^2 und einer Höhe und Breite von jeweils 2,1 mm ($0,1^\circ \times 0,1^\circ$). Durch den Eyetracker wurde überprüft, ob die Versuchsperson das Kreuz fixierte (siehe 2.5). Konnte keine Fixierung des Kreuzes festgestellt werden, so erschien stattdessen einmalig ein rotes Ausrufezeichen für 500 ms, auf das wiederum das rote Kreuz für 800 ms folgte. Um die Erwartungshaltung der Versuchspersonen zu minimieren wurden 5, 7 oder 9 Distraktorenpaare gezeigt, bevor das Stimuluspaar aus T1 und einem Distraktor erschien (Kiefer and Brendel, 2006). Nun folgte entweder direkt das Stimuluspaar aus T2 und einem Distraktor oder vorher drei Distraktorenpaare und danach der 2. Zielreiz mit einem Distraktor. Das direkte Erscheinen von T2 auf T1 wird im Folgenden als Folge₁ bezeichnet, nach 3 Distraktorenpaaren als Folge₄. Nach T2 erschienen 5 Distraktorenpaare, so dass ein Durchgang insgesamt 12 – 19 Stimuluspaare umfasste. Am Ende eines Durchgangs wurde die Versuchsperson aufgefordert auf der Tastatur den ersten Zielreiz T1 einzugeben. Danach folgte die Aufforderung T2 einzugeben. Dafür wurden für die Versuchspersonen jeweils die 6 Auswahlmöglichkeiten auf dem Bildschirm angezeigt. Falls ein Zielreiz nicht erkannt wurde, sollte dieser bestmöglich geraten werden.

Abbildung 2.1

Die Abbildung zeigt das Schema eines Durchgangs mit Zielreizpräsentation in Folge₁. Mit Paaren ist die Präsentation von Distraktorenpaaren bezeichnet. 5/7/9 Distraktorenpaare gefolgt von beiden Zielreizen und 5 Distraktorenpaaren ergibt 12/14/16 Stimuluspaare pro Durchgang in Folge₁.

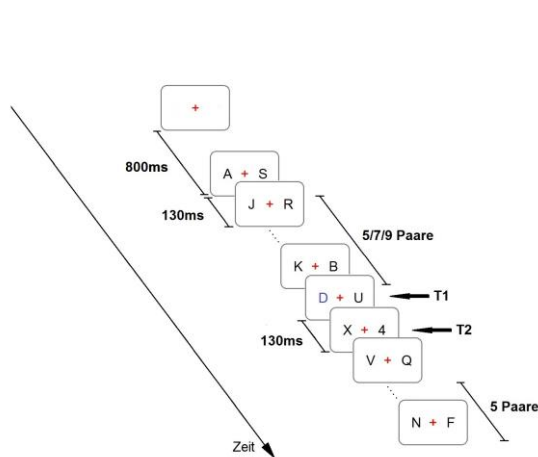
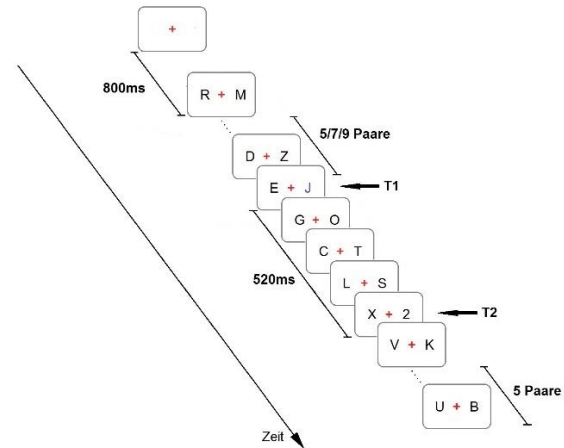


Abbildung 2.2

Auf der Abbildung ist ein Durchgang mit Zielreizpräsentation in Folge₄ zu sehen. 5/7/9 Stimuluspaare gefolgt von T1, 3 Distraktorenpaaren, dem 2. Zielreiz und 5 Distraktorenpaaren ergibt 15/17/19 Stimuluspaare pro Durchgang in Folge₄.



Da T1 und T2 jeweils auf unterschiedlichen Seiten des Kreuzes erscheinen konnten, ergaben sich 4 verschiedene Szenarien (s. Tabelle 2.1). Des Weiteren konnte T2 in Folge₁ oder Folge₄ nach T1 folgen. Zusätzlich kamen noch Durchgänge, in denen jeweils nur der erste oder zweite Zielreiz gezeigt wurde. Diese konnten auf beiden Seiten des Kreuzes erscheinen, auf Grund des fehlenden anderen Zielreizes jedoch nicht in Folge₁ oder Folge₄. Zu jedem dieser 12 Szenarien (s. Tabelle 2.1) wurden jeweils 60 Durchgänge pro Experimentteil gezeigt, so dass sich eine Gesamtzahl von 720 Durchgängen ergab. Zur Steuerung des Experiments wurde die Presentation Software 14.5 von Neurobehavioral Systems Inc. aus Albany, Canada verwendet. Um die Erwartungshaltung der Versuchspersonen gering zu halten, wurden sie weder über die Aufteilung der Durchgänge noch über das Erscheinen von T2 in Folge₁ oder Folge₄ informiert.

Tabelle 2.1

In der Tabelle sind die Variationen der Zielreizpräsentation aufgeführt. Bei alleiniger Präsentation eines Zielreizes konnte dieser entweder links oder rechts des roten Kreuzes erscheinen. Die Kombination beider Zielreize waren in Folge₁ und Folge₄ zu sehen, konnten dort jeweils auf der gleichen Seite oder verschiedenen Seiten präsentiert werden und zusätzlich links oder rechts des roten Kreuzes erscheinen.

Kombination								Alleine			
Folge ₁				Folge ₄				T1		T2	
gleiche Seite		verschiedene Seiten		gleiche Seite		verschiedene Seiten		links	rechts	links	rechts
links	rechts	links	rechts	links	rechts	links	rechts	links	rechts	links	rechts

2.4 Versuchsdurchführung

Zu Beginn wurde der Versuchsperson eine passende EEG-Haube der Firma Easycap GmbH aus Herrsching, Deutschland aufgesetzt und mit einem elastischen Band unterhalb des Kinns fixiert. Die richtige Größe wurde durch Messung des Kopfumfangs ermittelt. Anschließend wurde die Kopfhaut mit in 70%igen Äthanol getränkten Wattestäbchen an den Fixierungspunkten für die EEG-Elektroden gereinigt und die Elektroden angebracht. Zur Verbesserung der Leitfähigkeit wurde zwischen Elektroden und Kopfhaut ein abrasives Elektrodengel der Theodor-Körner-Apotheke aus Graz, Österreich gespritzt. Der Widerstand zwischen Elektroden und Kopfhaut wurde durch Manipulation mit dem Wattestäbchen so lange optimiert, bis er weniger als 5 k Ω betrug. Während der Vorbereitung füllte die Versuchsperson die Einverständniserklärung und das Edinburgh Handedness Inventory aus. Sie wurde mündlich über den Ablauf des Versuchs aufgeklärt. Die Funktion des roten Ausrufezeichens und die Auswirkungen von Blinzeln, Kontraktur der Kiefermuskulatur und Kopfbewegungen auf Artefaktbildung im EEG wurden ihr erläutert. Weiterhin wurde sie aufgefordert eine angenehme Sitzposition zu finden und informiert, dass diese für den Eyetracker während des Experimentes eventuell korrigiert werden müsse. Blinzeln sollte ebenso vermieden werden wie die Blickabwendung vom Bildschirm, bevor die Fragen zu den Zielreizen am Bildschirm erschienen. Danach absolvierte die Versuchsperson zwei Probedurchläufe mit jeweils 10 – 20 Durchgängen. Im ersten wurden die Stimuluspaare mit 500 ms länger gezeigt als im zweiten Testdurchlauf mit den regulären 130 ms. Vor dem Start des eigentlichen Versuchs wurde der Eyetracker unterhalb des Monitors platziert und kalibriert. Für die Kalibrierung fixierte die Versuchsperson nacheinander 9 Punkte auf dem Bildschirm. Nach den ersten 360 Durchgängen gab es eine Pause von 2 – 5 Minuten, bevor der Eyetracker rekaliert wurde und der zweite Durchlauf startete. Das Experiment dauerte ca. 75 Minuten mit einer zusätzlichen Vorbereitungszeit von 30 – 45 min und einer Trainingszeit von 5 Minuten.

2.5 Eyetracker

Um die hemisphäregerechte Trennung und Verarbeitung der Zielreize zu gewährleisten musste die Blickfixierung der Versuchsperson auf das zentrale rote Kreuz gegeben sein. Zur Überprüfung wurden zwei Methoden angewendet. Neben horizontalem und vertikalem Elektrookulogramm (EOG) wurde ein Eyetracker verwendet, um die Augenbewegung zu

erfassen. Dieser ermöglichte eine exaktere Feststellung der Blickposition und höhere Erkennungsrate von Augenbewegungen als das EOG. Eine 60 Hz Kamera filmte die Augen der Versuchsperson. Per Infrarotlicht aus einer LED wurden die Augen angestrahlt. Die Reflexion des Infrarotlichts auf der Hornhaut sowie die errechnete Mitte der Pupille wurden von einer Bildverarbeitungssoftware als Vektor genutzt, um die Blickrichtung zu bestimmen. Diese Methode nennt sich Pupil Center Corneal Reflection (PCCR) (Guestrin and Eizenman, 2006). Für die Kalibrierung musste die Versuchsperson einem blauen Punkt folgen, der sich auf dem Monitor zu 9 Punkten bewegte. Falls während der Durchgänge horizontale Augenbewegungen von größer als 20 Pixel Abweichung (0,625 cm) vom roten Kreuz vom Eyetracker festgestellt wurden, erschien stattdessen das rote Ausrufezeichen, um den Blick automatisch wieder in die Mitte zu lenken. Die 500 ms nach Erscheinen des Ausrufezeichens eingenommene Position wurde vom Programm als neuer Nullpunkt bestimmt (da sich in früheren Versuchen zeigte, dass ein nur einmalig am Anfang bestimmter Nullpunkt durch kleine Änderungen der Sitzposition während des Versuchs nicht mehr aktuell blieb und zu vielen Fehlalarmen des Eyetrackers führte). Die Videoaufnahme von den Augen konnte vom Versuchsleiter auf einem externen Monitor überwacht werden.

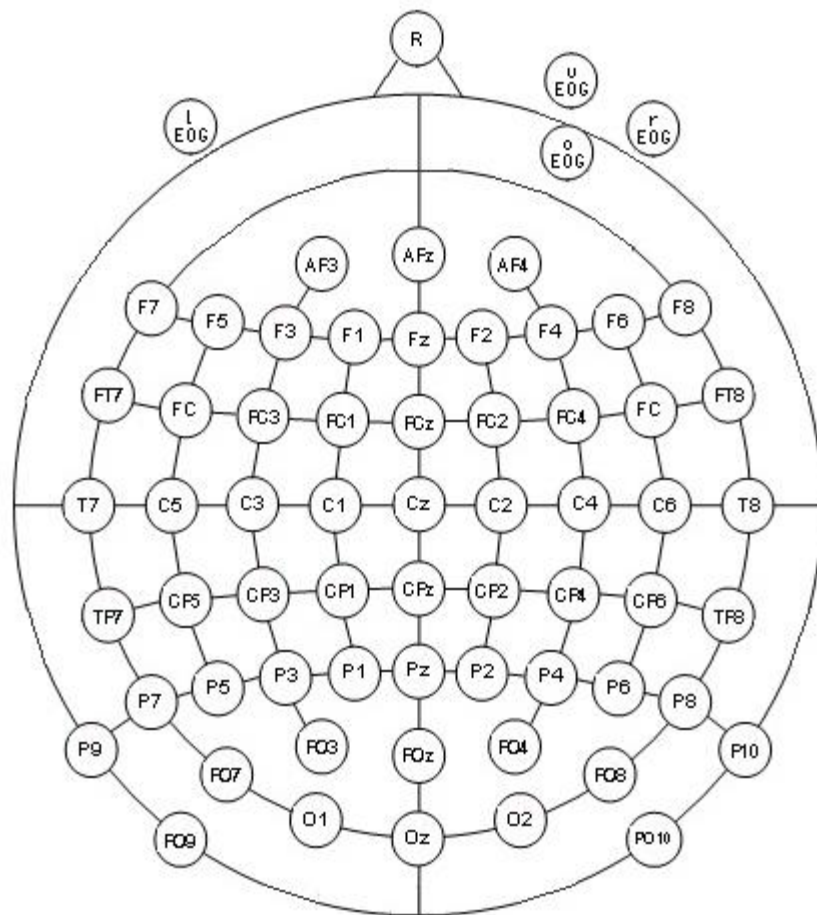
2.6 EEG

Zur Ableitung der EEG-Signale wurden Ag/AgCl-Elektroden von der Firma Easycap GmbH aus Herrsching (bei München) verwendet. Sie wurden an 60 Positionen (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) nach dem 10-10 System an der Easycap-EEG-Haube fixiert (Jurcak, Tsuzuki and Dan, 2007). Zusätzlich wurden ober- und unterhalb des rechten Auges Elektroden für das vertikale und an beiden äußeren Augenwinkeln für das horizontale Elektrookulogramm per Pflaster befestigt. Diese Elektroden dienten zur Messung der elektrischen Potenziale durch Augen- und Lidbewegungen der Versuchspersonen als Quelle von Artefakten im EEG. Die Offline-Referenz Elektrode wurde mit Pflasterstreifen auf der Nasenspitze angebracht. Als Online-Referenz diente die Ableitung der Fz-Elektrode. Zur Erdung wurde an der FCz-Position eine Elektrode befestigt. Die Pflasterstreifen wurden zusätzlich mit dem abrasiven Elektrodengel unterspritzt, das auch die übrigen Elektroden bedeckte. Der Verstärker

BrainAmp MR plus von Brain Products GmbH aus Gilching (bei München) verstärkte die Signale der EEG-Elektroden zwischen 0 und 250 Hz und zeichnete diese mit 500 Hz je Kanal auf.

Abbildung 2.3

Die Abbildung zeigt schematisch die Position der EEG-Elektroden auf dem Kopf der Versuchsperson. Die Ansicht ist von oben auf den Schädel. Als R ist die Referenzelektrode auf der Nase gekennzeichnet. Für die Ableitung des Elektrookulogramms wurden die EOG gekennzeichneten Elektroden verwendet. IEOG- und rEOG-Elektroden befanden sich jeweils lateral vom linken beziehungsweise rechten Auge. Die oEOG-Elektrode war oberhalb und die uEOG-Elektrode unterhalb des rechten Auges.



2.7 Verarbeitung der EEG-Daten

Für die Verarbeitung der Daten wurde das Programm BrainVision Analyzer (Version 2.01) der Firma Brain Products GmbH aus Gilching verwendet. Vor der Analyse der EEG-Daten wurden diese für die durch Zielreize evozierten Komponenten N2pc und P3 und die VEP separat segmentiert und gefiltert.

Die N2pc- und P3-Segmente für T1 begannen 100 ms vor dem ersten Zielreiz und endeten nach 800 ms. Die N2pc-Amplitude erschien dabei zwischen 200ms und 500 ms, während die P3-Amplitude im Zeitraum 300 – 500 ms erschien.

Da der zweite Zielreiz zu unterschiedlichen Zeitpunkten nach T1 erschien, gab es mehr Unterschiede in der Länge der Segmente. Der Ausgangspunkt für die N2pc- und P3-Segmente war jeweils 100 ms vor Erscheinen von T1. Die N2pc-Segmente des zweiten Zielreizes endeten jeweils 500 ms nach T2. Sie waren also 730 ms lang beim Erscheinen von T2 in Folge₁ und 1120 ms beim Erscheinen von T2 in Folge₄. Die P3-Segmente wurden länger gewählt, da die Amplituden von P3 für den zweiten Zielreiz breiter und flacher waren als die Amplituden für den ersten Zielreiz. Die Segmente endeten 850 ms nach dem zweiten Zielreiz mit einer Länge von 1080 ms in Folge₁ und 1470 ms in Folge₄. Die individuelle Festlegung der Grenzen für die Segmente sollte einerseits gewährleisten, dass die evozierten Komponenten sich in diesen befanden und andererseits sollte verhindert werden, dass sonst valide Durchgänge durch spätere Artefakte ausgeschlossen werden. Diese Artefakte entstanden meist, da die Versuchspersonen nach Erscheinen von T2 zur Eingabe der Zielreize ihren Blick vom Bildschirm abwandten (Verleger, Śmigasiewicz and Möller, 2011).

Das Segment für die Analyse der VEPs begann 100 ms vor Erscheinen des ersten Distraktorpaars und dauerte 1700 ms, so dass die Mindestanzahl von 12 Durchgängen erfasst wurde.

Die für die Auswertung wichtigen Komponenten waren alle im Frequenzbereich unter 20 Hz zu finden. Um die Anzahl der Störpotenziale weiter zu verringern, wurde deshalb eine Tiefpassfilterung der Durchgänge zum Ausschluss von Frequenzen über 20 Hz durchgeführt. Ein Kerbfilter bei 50 Hz eliminierte Signale, die vom Stromnetz ausgingen. Zur Festlegung eines Nullniveaus wurden die Spannungswerte aus den ersten 100 ms der jeweiligen Segmente vor Erscheinen des jeweiligen ersten Stimulus gemittelt und vom Segment abgezogen.

Danach wurden Durchgänge entfernt, deren Spannungsamplituden +100 μ V über- und -100 μ V unterschritten. Für die Analyse der von T1 und T2 ausgelösten Komponenten, N2pc und P3, wurden Durchgänge mit Spannungssprüngen ≥ 30 μ V und Spannungsdifferenzen ≥ 150 μ V entfernt. Für die Analyse der P3-Daten wurden zur Glättung der Spannungskurve und Filterung von Nebenfrequenzen vorher eine Tiefpassfilterung der Daten bei 5 Hz durchgeführt. Für die VEP-Analyse wurden die Grenzen großzügiger gelegt, da die Signal-Amplituden größer waren. Die Grenze für Spannungssprünge betrug 50 μ V, die Grenze für

Spannungsdifferenzen 200 μV . Eine Hochpassfilterung bei 3 Hz eliminierte eventuelle langsame Drifts bei den VEP-Spannungsdaten.

Bei der Filterung für das hEOG wurden die Daten der Elektroden an den äußeren Augenwinkeln bis 700 ms nach Auftreten von T1 genutzt. Dabei wurden die Daten der kontralateralen Elektrode von der ipsilateralen subtrahiert und der Mittelwert über die Durchgänge gebildet. War die Spannungsdifferenz größer als 10 μV , so bedeutete dies, dass die Person im Mittel eine Augenbewegung $> 0,6^\circ$ in Richtung des T1 machte und somit der Zielreiz nicht mehr in einem der visuellen Halbfelder gesehen wurde.

Das vEOG wurde für die Erkennung von Blinzelbewegungen genutzt. Durchgänge mit Spannungsdifferenzen von $> 30 \mu\text{V}$ zwischen den Elektroden ober- und unterhalb des rechten Auges wurden nicht zur Analyse hinzugezogen. Zusätzlich wurden Durchgänge verworfen, in denen Spannungsamplituden $+100 \mu\text{V}$ über- und $-100 \mu\text{V}$ unterschritten, da diese von Bewegungen und Blinzeln entstanden. 3 Versuchspersonen mussten nachträglich vom Experiment ausgeschlossen werden, da bei ihnen zu viele Durchgänge nach diesen Kriterien verworfen wurden.

Schließlich wurden die Daten für die VEP-, T1- und T2-N2pc-Auswertung räumlich gefiltert. Hierfür wurde die current source density (CSD) für die jeweiligen Daten ermittelt. Das Rausch-Signal-Verhältnis wird durch Filterung entfernter und Hervorhebung lokaler Signale erhöht (Kayser and Tenke, 2015). Die bereits prozessierten EEG-Daten jeder Elektrode wurden in referenzfreie CSD-Schätzwerte ($\mu\text{V}/\text{m}^2$) umgewandelt. Dies geschah mit Hilfe des surface Laplacian Algorithmus mit Interpolation von sphärischen Splines über die Brain Vision Analyser software (Perrin et al., 1989, 1990). Folgende Parameter wurden verwendet: order of splines 4; maximal degree of Legendre polynomials 10; approximation parameter lambda 1.0e-005.

2.8 Analyse der EEG-Komponenten

Für die Analyse der Datensätze für N2pc und P3 wurden lediglich die artefaktfreien Durchgänge mit korrekter Zielreizeingabe verwendet, da für die Evokation der Komponenten die Zielreize erkannt werden mussten. Bei den VEP-Datensätzen wurden zusätzlich auch die artefaktfreien Durchgänge mit inkorrekt eingetragener Zielreizeingabe verwendet, da die VEP-Komponenten allein schon durch den Distraktorenstrom evoziert wurden. Wichtige zu analysierende Komponenten wie die erste negative Amplitude N1 und erste positive

Amplitude P1 befanden sich zeitlich deutlich vor dem Erscheinen der Zielreize. Von den Datensätzen wurde aus den jeweils verwendeten Durchgängen für jede Versuchsperson der mittlere Kurvenverlauf gebildet.

Zur Analyse der von T1 evozierten N2pc-Komponente wurden die Datensätze der Elektroden an Position PO7 und PO8 benutzt. An diesen waren die größten Spannungsamplituden im Zeitraum der N2pc zu finden. Um das Rausch-Signal-Verhältnis zu minimieren, wurde statt der Mittelwerte jeder Versuchsperson die Jackknife Methode angewendet (Roff and Preziosi, 1994). Dabei wurde aus den Daten aller Versuchspersonen ein Mittelwert gebildet, ohne die Daten der einen gerade auszulassenden Versuchsperson miteinzubeziehen. Dies wurde für jede Versuchsperson gemacht. Durch diese Methode verringerte sich die Varianz zwischen den Daten der Versuchspersonen deutlich, weshalb dies in der statistischen Analyse korrigiert werden musste (s. unten). Die links- und rechtshemisphärischen N2pc wurden separat gebildet, wobei für die rechte Hemisphäre die Daten von PO8 und für die linke Hemisphäre die Daten von PO7 benutzt wurden. Die Daten, bei denen T1 ipsilateral erschien, wurden von den Daten, bei denen T1 kontralateral erschien, subtrahiert. Diese dienten zur besseren Identifikation der N2pc durch Entfernung von durch den Distraktorenstrom verursachten VEP-Signalen. Somit ergibt sich für die linke Hemisphäre die Differenz $PO7_{T1 \text{ rechts}} - PO7_{T1 \text{ links}}$ und für die rechte Hemisphäre die Differenz $PO8_{T1 \text{ links}} - PO8_{T1 \text{ rechts}}$. Der Spannungsgipfel der N2pc wurde im Zeitraum von 150 – 320 ms nach dem ersten Zielreiz gesucht.

Bei der Analyse der N2pc-Komponenten für den zweiten Zielreiz wurden ebenfalls die Daten der PO7- und der PO8-Elektroden nach Jackknife Methode verwendet. Wie bei der Analyse der N2pc-Daten für den ersten Zielreiz wurden die Daten für jede Hemisphäre separat berechnet und zusätzlich jeweils die Differenz aus den Daten der kontra- und ipsilateralen Hemisphären gebildet. Dies sollte durch Distraktoren evozierte VEP und in dem Zeitraum der T2-N2pc möglicherweise auftretende P3-Signale heraussubtrahieren. Um zusätzlich die Signale der T1-N2pc zu entfernen wurden für die Daten in Folge₁ und Folge₄ unterschiedliche Differenzen gebildet. Für die Ermittlung der T2-N2pc in Folge₁ wurde, wie anfangs beschrieben, die kontralaterale-ipsilaterale Differenz der Spannungsdaten gebildet. Als Minuend wurden die Daten aus Folge₁ verwendet, in denen erster und zweiter Zielreiz auf einer oder auf beiden Seiten zu sehen waren. Die Daten der linken und rechten Seite wurden dabei separat berechnet. Der Subtrahend bildete sich aus den Daten, in denen der 2. Zielreiz in Folge₄ erschien, da bei diesen Daten im Zeitraum der Folge₁-N2pc keine N2pc-Signale zu finden waren. Es wurde der Mittelwert aus den Daten gebildet, in denen

beide Zielreize ipsilateral erschienen, und aus den Daten, in denen erster Zielreiz ipsilateral und zweiter Zielreiz kontralateral erschien. Für die Subtraktion wurden die Daten im Zeitraum 0 - 900 ms nach Erscheinen des ersten Zielreizes verwendet. Es zeigte sich jedoch nach Ansicht der Daten, dass das Rausch/Signal-Verhältnis zu hoch war und unter dieser Bedingung keine stabile N2pc ermittelt werden konnte. Diese Daten wurden daher nicht ausgewertet.

Da für die Berechnung der Folge₄-Daten keine Referenzdaten zur Verfügung standen, wurde für jede Zielreizkombination beider Seiten ein Spannungszeitraum als Subtrahend gewählt, in dem evozierte Potenziale des ersten Zielreizes möglichst weit entfernt waren und der zweite Zielreiz noch nicht erschien. Dieser Zeitraum wurde von 400 – 600 ms nach Erscheinen des ersten Zielreizes festgelegt. Diese Daten wurden nun von ihren korrespondierenden kontralateral-ipsilateralen Spannungsdifferenzen der Folge₄-Daten subtrahiert.

Die N2pc des zweiten Zielreizes wurde 150 – 350 ms nach Erscheinen von T2 gesucht. Da bei den Spannungswerten kein deutlicher Spannungsgipfel zu finden war, wurde dieser geschätzt. Der Spannungswert, bei der die Hälfte der AUC (area under curve) im Zeitraum von 150-350 ms nach T2 erreicht wurde, wurde als Spannungsgipfel festgelegt (Craston *et al.*, 2009). Positive Spannungswerte wurden für die Schätzung auf Null gesetzt. Die Amplitude wurde als Mittelwert der Spannungsdaten ± 25 ms um diesen Spannungsgipfel festgelegt.

Für die Analyse der P3-Komponenten der beiden Zielreize wurden die Spannungsdaten der Pz-, CPz- und POz-Elektroden genutzt, aus denen pro Elektrode ein Gesamtmittelwert der Daten jeder Versuchsperson einzeln berechnet wurde. An der CPz-Elektrode zeigten sich die größten Spannungswerte in dem für P3-Signale erwarteten Zeitraum. Die P3-Komponente des ersten Zielreizes wurde als größter positiver Spannungsgipfel 300 – 500 ms nach Erscheinen des Zielreizes gesucht. Für die P3-Komponente des zweiten Zielreizes musste vor der Bestimmung der Amplitude der Startpunkt der P3 an die Grundlinie angepasst werden. Die P3-Signale des ersten Zielreizes versetzten die Spannungswerte so, dass ein Vergleich der T2-P3 Daten in den Latenzen nur durch Anpassung an die Nulllinie möglich war. Dazu wurde visuell im Gesamt-Mittelwert über alle Probanden der Zeitpunkt bestimmt, an dem zwischen den P3-Komponenten des ersten und zweiten Zielreizes die Spannungskurve ihren Wendepunkt vom Negativen ins Positive erreichte, und die Spannungswerte zu diesem Zeitpunkt ± 10 ms gemittelt. Dies war für die Spannungsdaten in Folge₁ der Zeitraum 470 – 490 ms nach dem ersten Zielreiz und für die

Daten in Folge₄ der Zeitraum 730 – 750 ms. Die P3-Komponente des zweiten Zielreizes wurde als größte Amplitude im Bereich 350 – 750 ms nach Erscheinen des zweiten Zielreizes gesucht (= 480 – 880 ms nach T1 bei Folge₁ und 870 – 1270 ms bei Folge₄). Zusätzlich wurde die P3-Komponente des zweiten Zielreizes mit einer alternativen Methode berechnet. Diese ermöglichte die Elimination der P3-Signale des ersten Zielreizes. Da die Daten nach dieser alternativen Auswertungsmethode ein geringeres Rausch-Signal-Verhältnis zeigten, wurden diese für die Auswertung verwendet. Es wurde jeweils separat als Minuend die gemittelten Daten der CPz-, Pz- und POz-Elektrode im Folge₁ und Folge₄ mit Erkennung beider Zielreize verwendet. Als Subtrahend wurden die Mittelwerte der passenden Daten genutzt, in denen der erste Zielreiz nicht präsentiert wurde. Der neue Grundlinienwert wurde wie bei der ersten Methode gewählt und unterschied sich beim Erscheinen des Wendepunktes nur bei den Folge₄-Spannungswerten mit dem Zeitraum 810 – 830 ms nach Erscheinen von T1.

Für die Analyse der VEP-Daten benutzten wir die Daten der Elektroden mit den höchsten Spannungsamplituden. Dies waren die PO7-Elektrode für die linke und die PO8-Elektrode für die rechte Hemisphäre. Mit den Daten dieser Elektroden wurde für jede Versuchsperson einzeln eine Kreuzkorrelation durchgeführt. Die Daten der Elektroden wurden in 2 ms Schritten über einen Zeitraum von ±50 ms gegeneinander verschoben. Der Wert, bei dem der Korrelationskoeffizient sein Maximum erreichte, entsprach der Latenzdifferenz der Spannungskurven von PO7 und PO8 (Okon-Singer *et al.*, 2011).

2.9 Analyse der Zielreizangaben

Bei der Analyse der Zielreizangaben wurden die Trefferquoten für den ersten und zweiten Zielreiz in Kombination sowie die Trefferquoten für die Durchgänge berechnet, in denen die beiden Zielreize einzeln erschienen. Für den ersten Zielreiz wurden als Dividend alle Durchgänge, in denen T1 erkannt wurde und T2 erschien, verwendet. Der Divisor enthielt alle Durchgänge in denen beide Zielreize zu sehen waren.

Formel 2.1 Die Formel zeigt die Berechnung der Trefferquote für den ersten Zielreiz beim Auftreten mit dem zweiten Zielreiz. Das tiefergestellte k kennzeichnet Durchgänge, in denen beide Zielreize erscheinen.

$$Quote_{T1_k} = \frac{T1_k \text{ korrekt}}{\text{Alle Durchgänge}_k}$$

Beim zweiten Zielreiz bestand die Möglichkeit bei nicht korrektem erstem Zielreiz, diesen übersehen zu haben, so dass kein Latenz-Effekt für den zweiten Zielreiz entstand. Deshalb wurden für die Bildung des Divisors des zweiten Zielreizes nur Durchgänge verwendet, in denen der erste Zielreiz korrekt eingegeben wurde. Der Dividend wurde aus den Durchgängen gebildet, in denen beide Zielreize korrekt eingegeben wurden.

Formel 2.2 Die Trefferquote vom zweiten Zielreiz in Kombination mit dem ersten Zielreiz. Wie bei Formel 1.1 steht das tiefergestellte k für Durchgänge mit beiden Zielreizen.

$$Quote_{T2_k} = \frac{T1_{korrekt} \text{ und } T2_{korrekt}}{T1_k}$$

Für die Trefferquote der einzelnen Zielreize wurde der Quotient aus Durchgängen mit korrekter Eingabe des einzeln auftauchenden Zielreizes zu allen Durchgängen, in denen der jeweilige Zielreiz einzeln erschien, gebildet.

Formel 2.3 + 2.4 Die Berechnung der Quote für das Erscheinen der einzelnen Zielreize. Das tiefergestellte a steht für das alleinige Erscheinen des Zielreizes im Durchgang.

$$Quote_{T1_a} = \frac{T1_a \text{ korrekt}}{T1_a} \qquad \qquad \qquad Quote_{T2_a} = \frac{T2_a \text{ korrekt}}{T2_a}$$

2.10 Statistische Analyse

Für die Auswertung der T1- und T2-Identifikationsquoten und den evozierten Komponenten N2pc und P3 wurde eine mehrfaktorielle Varianzanalyse mit der Software SPSS (Version 20) von IBM durchgeführt. Als Faktoren mit Messwiederholung dienten die Präsentationsseite des Zielreizes (links oder rechts), die Aufteilung beider Zielreize (gleiche Seite oder verschiedene Seiten) und die Latenz bis zum Erscheinen des zweiten Zielreizes (Folge₁ oder Folge₄). Für die Durchgänge mit Erscheinen nur eines Zielreizes gab es nur den Faktor der Präsentationsseite (links oder rechts). Da das Rausch-Signal-Verhältnis der von T2 evozierten Folge₁-N2pc-Daten zu hoch war, wurden hier nur die Folge₄-Daten analysiert und der Faktor Latenz bis zum Erscheinen des zweiten Zielreizes fiel weg. Für die P3-Komponente gab es zusätzlich den Faktor Elektrode (CPz, Pz oder POz), da Daten mehrerer Elektroden die Evokation von P3 zeigten. Zusätzlich wurde noch der

Gruppenfaktor Händigkeit (Linkshänder oder Rechtshänder) analysiert. Hierfür wurden die Daten mit denen aus dem 2. Experiment der Inauguraldissertation von Matthias Liebrand (Liebrand, 2014) statistisch verglichen. Der Ablauf des Experimentes war identisch. Statt Linkshändern nahmen nur Rechtshänder am Versuch teil.

Um den durch die Jackknife-Methode entstandenen F-Wert der N2pc Daten zu korrigieren, wurde dieser mit dem Wert $(n-1)^2 = 225$ dividiert. N war dabei die Anzahl der Versuchspersonen.

Für die Auswertung der VEP-Daten wurde für die Latenzdifferenzen der Hemisphären ein t-Test gegen Null durchgeführt.

3 Ergebnisse

3.1 Identifikation der Zielreize

3.1.1 Erster Zielreiz T1

Abbildung 3.1

Zu sehen sind die Mittelwerte der Quoten für die korrekte Eingabe des ersten Zielreizes. In der linken Abbildung sind diese für die vier verschiedenen Kombinationen mit dem zweiten Zielreiz für Links- und Rechtshänder in Folge₁ dargestellt. Die durchgezogenen Linien zeigen die Zielreizpräsentation auf der gleichen Seite, während die gestrichelten Linien für die Präsentation auf unterschiedlichen Seiten stehen. Rote Linien markieren die Präsentation des ersten Zielreizes auf der linken Seite und schwarze Linien die Präsentation auf der rechten Seite.

Auf dem rechten Graph werden die Daten analog zum linken Graphen in Folge₄ präsentiert.

Der untere Graph zeigt die korrekte Identifikation des ersten Zielreizes bei alleinigem Erscheinen in Bezug auf alle Durchgänge mit individuellem T1. Unterschieden wurden die Quoten für die Präsentation auf der linken und auf der rechten Seite. Der rote Graph präsentiert die Daten für die Linkshänder, während der schwarze Graph die Daten für die Rechtshänder darstellt.

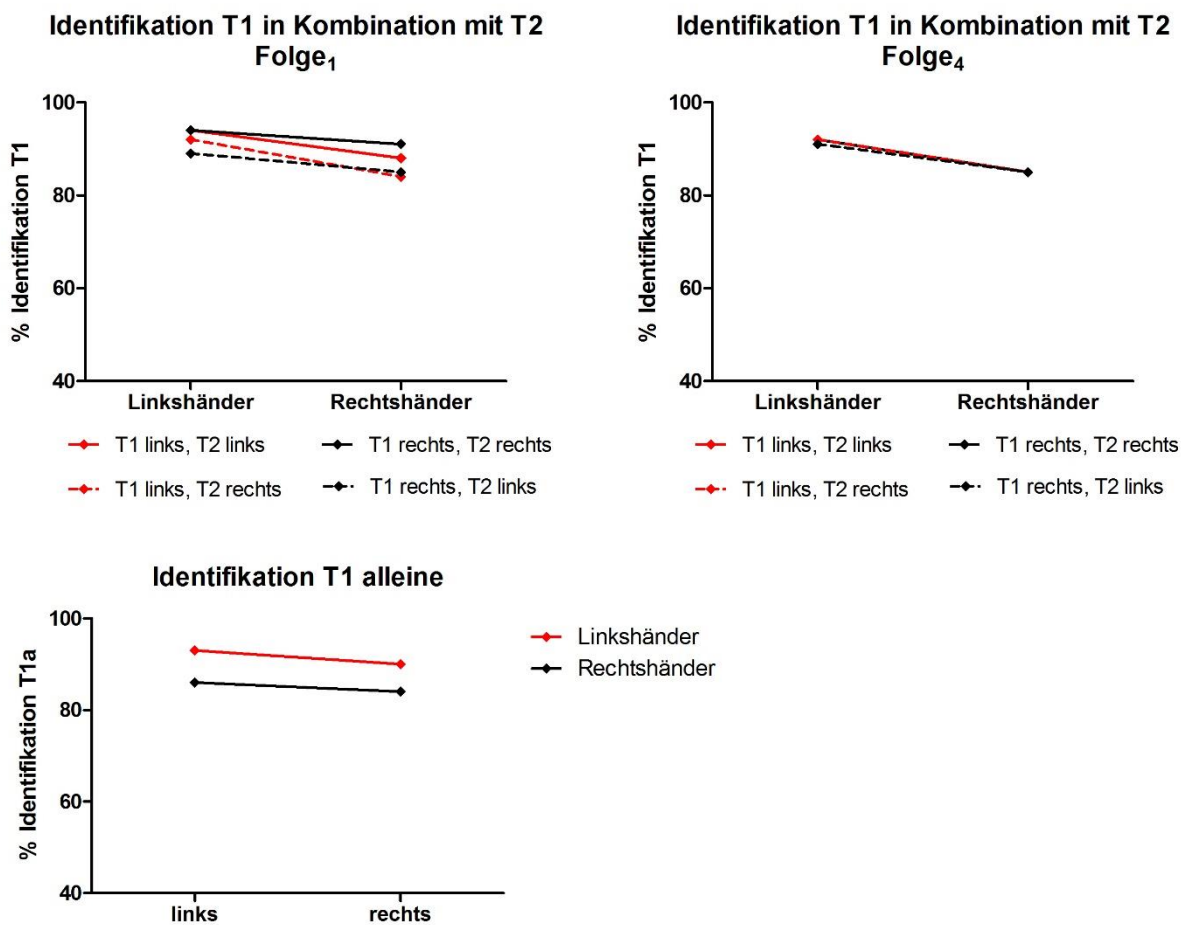


Tabelle 3.1

Die Tabelle zeigt die durchschnittliche prozentuale Trefferquote des ersten Zielreizes aller Links- und Rechtshänder in Durchgängen, in denen T1 erschien. In Kombination mit dem zweiten Zielreiz konnte T1 in Folge₁ und Folge₄ erscheinen, beide Zielreize konnten auf der gleichen Seite oder verschiedenen Seiten erscheinen, und der erste Zielreiz erschien auf der linken oder rechten Seite. In den nächsten vier Zeilen folgt die prozentuale mittlere Trefferquote, gefolgt von der Standardabweichung (SD) aller Linkshänder (LH). Danach folgen Trefferquote mit Standardabweichung aller Rechtshänder (RH).

Reiz	Kombination								Alleine	
	1				4					
Seite	gleich		verschieden		gleich		verschieden		links	rechts
T1	links	rechts	links	rechts	links	rechts	links	rechts		
Mittelwert LH	94	94	92	89	92	92	92	91	93	90
SD LH	5	5	9	7	5	5	5	6	8	6
Mittelwert RH	88	91	84	85	85	85	85	85	86	84
SD RH	7	9	12	12	11	11	11	13	11	13

Die Identifikationsquote bei Linkshändern für den ersten Zielreiz in Durchgängen mit zweitem Zielreiz betrug 92%. Die mittleren Quoten sind getrennt nach Bedingungen in Abb. 3.1 dargestellt und in Tab. 3.1 aufgelistet.

Insgesamt wurde der erste Zielreiz besser von Links- als von Rechtshändern erkannt ($F_{1;30} = 4,3$; $p < 0,05$). Bei beiden Gruppen wurde T1 bei Folge₁ besser identifiziert, wenn beide Zielreize auf der gleichen Seite statt auf unterschiedlichen Seiten erschienen (Latenz x Aufteilung $F_{1;30} = 27,9$; $p < 0,001$; Aufteilung Effekt für Folge₁ $F_{1;30} = 25,4$; $p < 0,001$; für Folge₄ $F_{1;30} = 0,6$; n.s.). Durch diese große, stabile Wechselwirkung von Latenz x Aufteilung wurden auch die Haupteffekte von Latenz (bessere Identifizierung von T1 in Folge₁ als in Folge₄, $F_{1;30} = 5,9$; $p = 0,02$) und von Aufteilung signifikant (bessere Identifizierung von T1, wenn T2 auf der gleichen Seite wie T1 erschien; $F_{1;30} = 12,0$; $p = 0,002$).

Beim alleinigen Auftreten des ersten Zielreizes identifizierten Linkshänder diesen etwas, jedoch nicht signifikant besser als Rechtshänder ($F_{1;30} = 3,8$; $p = 0,06$). Zwischen dem Erscheinen auf rechter oder linker Seite gab es keinen Unterschied ($F_{1;30} = 2,9$; n.s.).

3.1.2 Zweiter Zielreiz

Abbildung 3.2

Zu sehen sind die Mittelwerte der Quoten für die korrekte Eingabe des zweiten Zielreizes. In der linken Abbildung sind diese für die vier verschiedenen Kombinationen mit dem ersten Zielreiz für Links- und Rechtshänder in Folge₁ dargestellt. Die durchgezogenen Linien zeigen die Zielreizpräsentation auf der gleichen Seite, während die gestrichelten Linien für die Präsentation auf unterschiedlichen Seiten stehen. Rote Linien markieren die Präsentation des zweiten Zielreizes auf der linken Seite und schwarze Linien die Präsentation auf der rechten Seite.

Auf dem rechten Graph werden die Daten analog zum linken Graphen in Folge₄ präsentiert.

Der untere Graph zeigt die korrekte Identifikation des zweiten Zielreizes bei alleinigem Erscheinen in Bezug auf alle Durchgänge mit einzelner T2. Der rote Graph präsentiert die Daten für die Linkshänder, während der schwarze Graph die Daten für die Rechtshänder darstellt. Unterschieden wurden die Quoten für die Präsentation auf der linken und auf der rechten Seite.

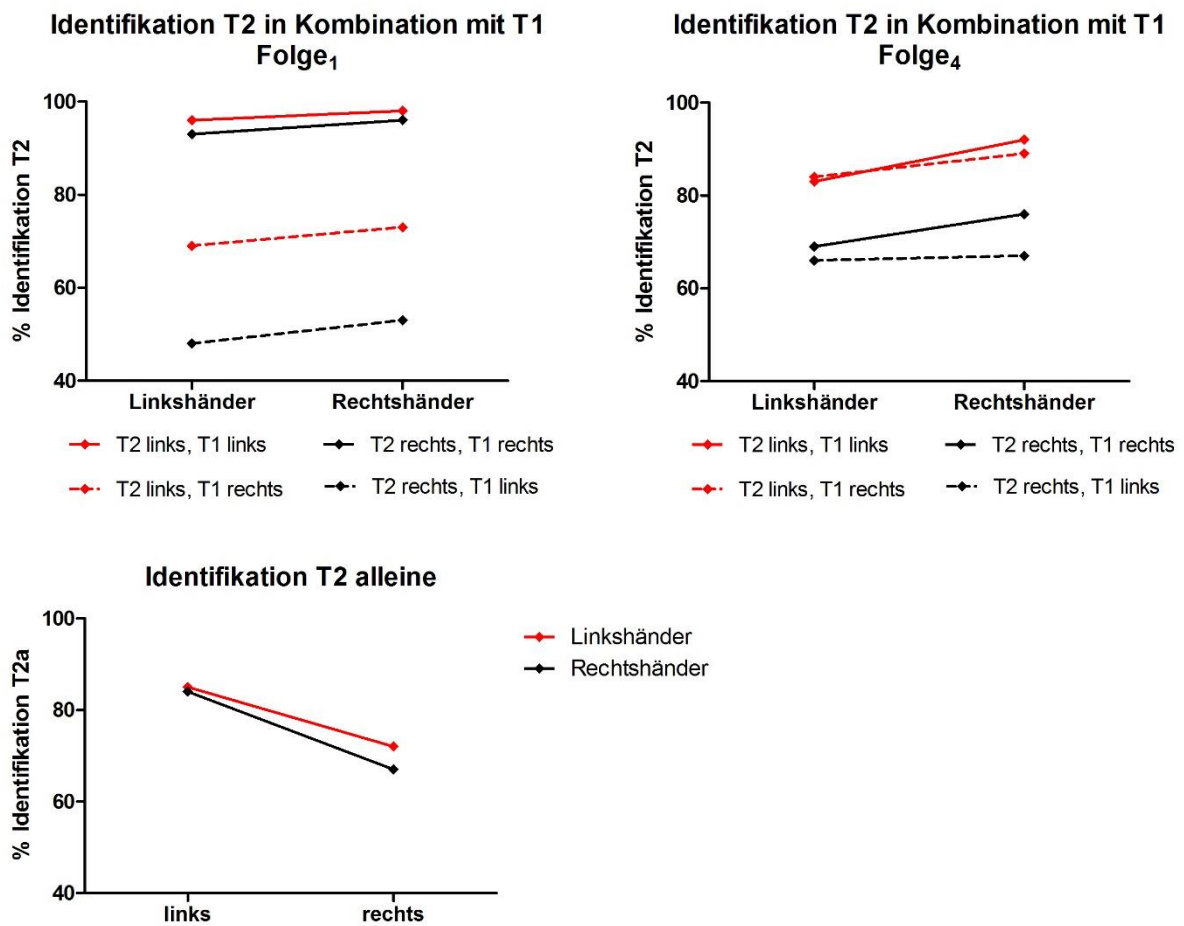


Tabelle 3.2

Zu sehen sind die prozentualen Trefferquoten aller Links- und Rechtshänder für den zweiten Zielreiz. Die Einteilung wurde analog zu Tabelle 3.1 vorgenommen.

Reiz	Kombination								Alleine	
	1				4					
	gleich		verschieden		gleich		verschieden			
T2	links	rechts	links	rechts	links	rechts	links	rechts	links	rechts
Mittelwert LH	96	93	69	48	83	69	84	66	85	72
SD LH	5	10	26	24	19	18	20	22	20	24
Mittelwert RH	98	96	73	53	92	76	89	67	84	67
SD RH	4	5	19	21	6	22	11	24	13	20

Beim zweiten Zielreiz in Kombination mit T1 lag die Identifikationsquote für Linkshänder bei 76%. Die mittleren Quoten sind getrennt nach Bedingungen in Abb.3.2 dargestellt und in Tab. 3.2 aufgelistet.

Bei allen Versuchspersonen, Links- und Rechtshändern, wurde T2 besser auf der linken als auf der rechten Seite erkannt ($F_{1;30} = 42,5$; $p < 0,001$). Bei der Händigkeit zeigten sich keine signifikanten Interaktionen oder Effekte mit anderen Faktoren ($F_{1;30} \leq 2,2$; $p \geq 0,2$) und somit zeigte auch keine Gruppe einen Vorteil in Bezug auf den Vorteil des LVH.

Die Interaktion zwischen T2 Seite x Latenz x Aufteilung war signifikant ($F_{1;30} = 6,1$; $p = 0,02$): So wurde T2 bei Erscheinen auf der linken Seite unter jeder Bedingung besser erkannt als bei Erscheinen auf der rechten Seite ($F_{1;30} \geq 5,2$; $p \leq 0,03$). Jedoch war der LVH in Folge₁ größer, wenn T2 auf der anderen Seite als der erste Zielreiz erschien als auf der gleichen Seite (T2 Seite x Aufteilung Effekt für Folge₁ $F_{1;30} = 17,0$; $p < 0,001$), während der LVH in Folge₄ unter beiden Bedingungen gleich groß war (T2 Seite x Aufteilung Effekt für Folge₄ $F_{1;30} = 3,3$; n.s.). Dadurch war insgesamt der Vorteil des LVH größer in Folge₄ als in Folge₁ (Latenz x T2 Seite $F_{1;30} = 8,4$; $p = 0,007$; T2 Seite Effekt für Folge₁ $F_{1;30} = 26,8$; $p < 0,001$; für Folge₄ $F_{1;30} = 42,3$; $p < 0,001$) sowie größer, wenn T1 und T2 auf verschiedenen Seiten als auf der gleichen Seite erschienen (T2 Seite x Aufteilung $F_{1;30} = 19,6$; $p < 0,001$; T2 Seite Effekt für gleiche Seite $F_{1;30} = 34,0$; $p < 0,001$; für verschiedene Seiten $F_{1;30} = 37,3$; $p < 0,001$).

Generell wurde T2 besser identifiziert, wenn der erste Zielreiz auf gleicher Seite erschien als wenn T1 auf der anderen Seite präsentiert wurde ($F_{1;30} = 88,0$, $p < 0,001$). Dieser Effekt zeigte sich um einiges deutlicher in Folge₁ als in Folge₄ (Latenz x Aufteilung $F_{1;30} = 127,8$;

$p < 0,001$; Aufteilung Effekt für Folge₁ $F_{1;30} = 129,6$; $p < 0,001$; für Folge₄ $F_{1;30} = 4,6$; $p = 0,04$).

Bei alleinigem Erscheinen des zweiten Zielreizes wurde dieser ebenfalls auf linker Seite besser erkannt als auf rechter Seite ($F_{1;30} = 50,5$; $p < 0,001$). Auch hier zeigte sich zwischen Links- und Rechtshändern dabei kein signifikanter Unterschied ($F_{1;30} = 0,9$; n.s.).

3.2 Evozierte Komponenten

3.2.1 N2pc

3.2.1.1 T1-evozierte N2pc

In Abbildung 3.3 werden die Spannungsdaten der PO8- und PO7-Elektroden von Links- und Rechtshändern im Zeitraum der T1-N2pc-Komponente dargestellt. Abbildung 3.4 zeigt die Topographie der EEG-Elektroden mit farblicher Darstellung der Spannungswerte der Elektroden bei Erscheinen von T1-N2pc.

Abbildung 3.3

Die Abbildung zeigt jeweils die gemittelten Spannungsdaten der T1-evozierten N2pc aller Versuchspersonen als Differenzen an einer Elektrode zwischen zu ihr kontralateralem und ipsilateralem T1. Daher wurden die Daten der PO8-Elektrode (rote Kurven) für die Auswertung bei Erscheinen des ersten Zielreizes auf der linken Seite verwendet, und die Daten der PO7-Elektrode (schwarze Kurven) für die Auswertung bei Erscheinen von T1 auf der rechten Seite. Der erste Zielreiz erschien beim Zeitpunkt 0 ms. Der linke Graph zeigt die Daten der Linkshänder und der rechte Graph die Daten der Rechtshänder.

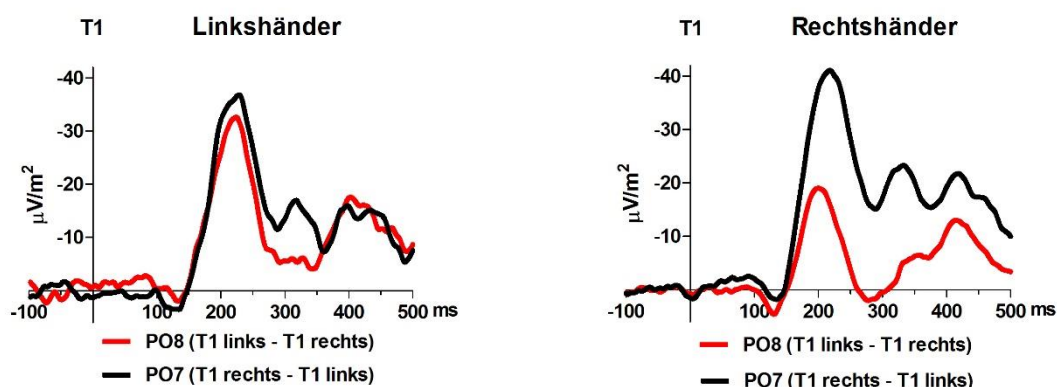
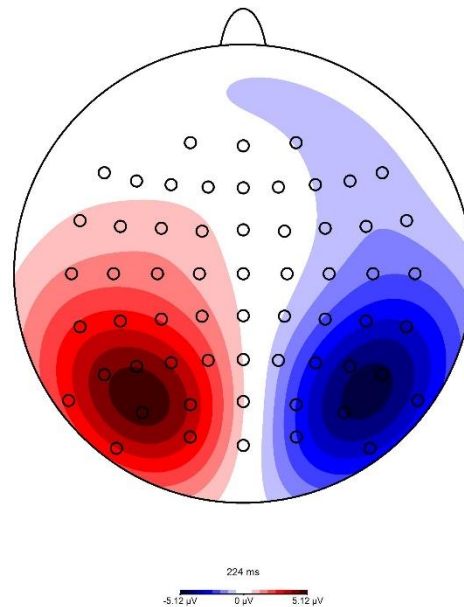


Abbildung 3.4

Zu sehen ist die Topographie der N2pc als Differenz zwischen erstem Zielreiz auf der linken Seite und erstem Zielreiz auf der rechten Seite bei Linkshändern. Sicht auf die Kopfhaut ist von oben. Diese Differenz produziert einen negativen Gipfel bei PO8 und einen positiven Gipfel (die N2pc, die durch den subtrahierten rechten T1 ausgelöst und durch die Subtraktion invertiert wird) bei PO7.



Latenz

Die N2pc-Komponente erschien circa 200 ms nach dem sie evozierendem Zielreiz.

Bei Linkshändern gab es keine signifikanten zeitlichen Unterschiede bei Erscheinen des ersten Zielreiz auf rechter oder linker Seite ($F_{1;15} = 1,0$; n.s.).

Beim Vergleich beider Experimente wurde die N2pc bei Rechtshändern früher evoziert als bei Linkshändern ($F_{1;30} = 6,7$; $p = 0,02$). Zusätzlich konnte die Komponente etwas früher über der PO8- als über der PO7-Elektrode abgeleitet werden ($F_{1;30} = 8,6$; $p = 0,006$).

Amplitude

Die Amplituden für beide Hemisphären zeigten bei Linkshändern keinen Größenunterschied ($F_{1;15} = 0,1$; n.s.).

Auch beim Vergleich beider Experimente gab es keinen signifikanten Größenunterschied der PO7- und PO8-Amplituden ($F_{1;30} = 2,8$; n.s.). Jedoch war nur bei Rechtshändern die Amplitude der PO7-Elektrode größer als die PO8-Amplitude (Seite $F_{1;30} = 6,3$; $p = 0,02$; Händigkeit x Hemisphäre $F_{1;30} = 3,6$; $p = 0,07$; Hemisphäre Effekt für Rechtshänder $F_{1;15} = 15,0$; $p = 0,002$; Hemisphäre Effekt für Linkshänder $F_{1;15} = 0,1$; n.s.). Zusätzlich wurde bei Linkshändern über der rechten Hemisphäre eine größere N2pc-Amplitude als bei

Rechtshändern evoziert (Händigkeit Effekt rechte Hemisphäre $F_{1;30} = 3,7$; $p = 0,065$), während sich linkshemisphärisch kein Unterschied zwischen den Amplituden der Links- und Rechtshänder zeigte (Händigkeit Effekt für linke Hemisphäre $F_{1;30} = 0,6$; n.s.).

3.2.1.2 T2-evozierte N2pc

In Abbildung 3.5 werden die Spannungsdifferenzen zwischen PO8- und PO7-Elektroden von Links- und Rechtshändern im Zeitraum der T1- und T2-N2pc-Komponente dargestellt. Abbildung 3.6 zeigt die Topographie der EEG-Elektroden mit farblicher Darstellung der Spannungswerte der Elektroden bei Erscheinen von T2-N2pc auf der linken Seite. Wegen schlechter Signalqualität der Spannungsdaten in Folge1 wurden lediglich die Daten mit zweitem Zielreiz in Folge4 ausgewertet.

Abbildung 3.5

Die Abbildung zeigt die gemittelten Spannungsdifferenzen zwischen den Elektroden PO7 und PO8 aus Folge₄ nach Elimination von Störfaktoren (mit Polarität der Differenz relativ zur T1-Seite: PO8-PO7 bei linkem T1, PO7-PO8 bei rechtem T1). Die oberen Graphen stellen die Versuchsdaten der Linkshänder dar, die unteren präsentieren die Daten der Rechtshänder. 0 ms markiert das Erscheinen des ersten Zielreizes. Das Erscheinen des zweiten Zielreizes ist mit T2 bei 520 ms markiert. Die durch den jeweiligen Zielreiz evozierten N2pc sind mit einem grauen Viereck hervorgehoben. Die roten Kurven zeigen jeweils die gemittelten Spannungsdaten bei Erscheinen des zweiten Zielreizes auf linker Seite, während die schwarzen Kurven die Daten bei Präsentation von T2 auf rechter Seite darstellen. Für die Berechnungsmethoden siehe 2.8. Durch die Berechnungsmethode (Ausrichtung der Polarität gemäß T1-Seite) stellt sich die T2-N2pc-Komponente bei Erscheinen des T2 auf der von T1 verschiedenen Seite invertiert dar, so dass ein Auseinanderdriften der Komponenten zu beobachten ist.

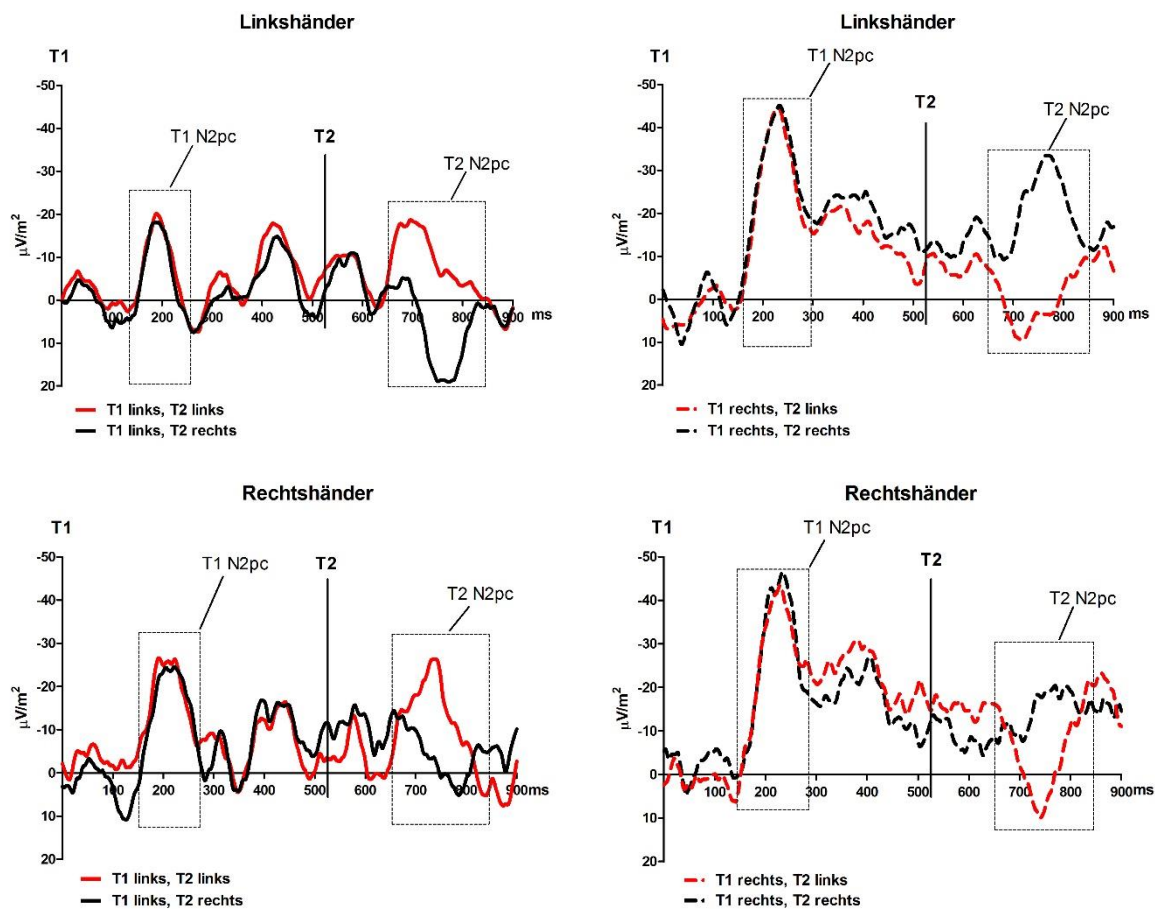
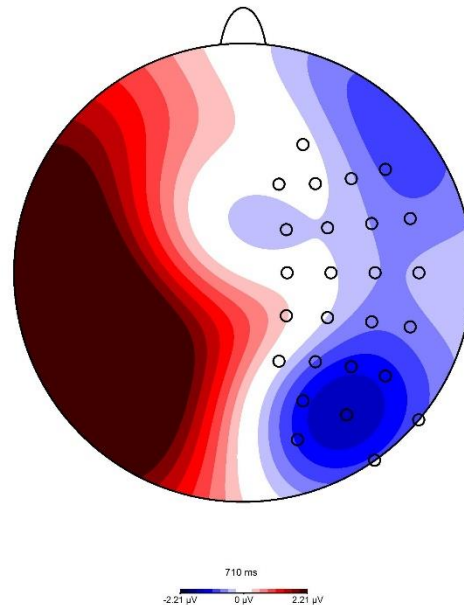


Abbildung 3.6

Über alle Versuchspersonen gemittelte Topographie der Spannungsverteilung der Differenzen symmetrischer rechts-links-Elektrodenpaare zum Zeitpunkt der T2-N2pc in Folge₄ mit Präsentation des zweiten Zielreizes auf der linken Seite bei Linkshändern.



Latenz

Wie an den roten Kurven in Abbildung 3.5 zu erkennen, wurde bei Linkshändern die N2pc-Komponente der Hemisphärendifferenz früher bei linkem als bei rechtem T2 evoziert (T2 Seite $F_{1;15} = 6,1$; $p = 0,03$).

Dieser Effekt zeigte sich ebenfalls bei Datenanalyse beider Experimente (T2 Seite $F_{1;30} = 7,2$; $p = 0,01$) und zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen Links- und Rechtshändern (alle übrigen Effekte und Interaktionen $F_{1;30} < 0,3$).

Amplitude

Bei der Amplitude gab es keine signifikanten Unterschiede bei Linkshändern (alle Effekte und Interaktionen $F_{1;15} < 0,5$) und auch nicht bei Analyse beider Gruppen (alle Effekte und Interaktionen $F_{1;30} < 0,6$).

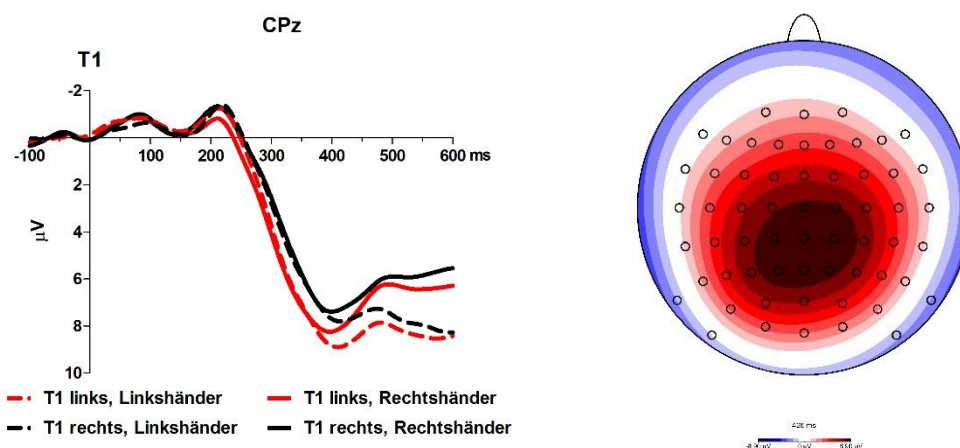
3.2.2 P3

3.2.2.1 T1-evozierte P3

In Abbildung 3.7 werden links die gemittelten Spannungsdaten der CPz-Elektrode von Links- und Rechtshändern im Zeitraum der T1-P3-Komponente dargestellt. Rechts daneben zeigt eine Topographie der EEG-Elektroden die farbliche Darstellung der Spannungswerte bei Erscheinen von linkem T1-P3 bei Linkshändern.

Abbildung 3.7

Auf der linken Abbildung wird der Zeitverlauf der von T1 evozierten P3-Spannungsdaten aller Probanden dargestellt. Die rote Kurve zeigt die gemittelten Spannungsdaten bei Erscheinen des ersten Zielreizes auf der linken Seite. Die schwarze Kurve präsentiert die Daten bei Erscheinen von T1 auf der rechten Seite. Gestrichelte Kurven zeigen die Daten der Linkshänder, während die durchgezogenen Kurven die Daten der Rechtshänder präsentieren. 0 ms markiert den Zeitpunkt der Präsentation des ersten Zielreizes. Für die Ableitung wurde die CPz-Elektrode verwendet. Auf der rechten Abbildung ist exemplarisch die Topographie der Spannungsdaten beim Zeitpunkt von P3 nach Erscheinen des ersten Zielreizes auf linker Seite bei Linkshändern zu sehen.



Latenz

Bei Linkshändern wurde die P3-Komponente zuerst an der POz-Elektrode, gefolgt von Pz und CPz-Elektrode evoziert (Elektrode $F_{2;30} = 8,1$; $p = 0,002$). Es gab keine zeitlich signifikanten Unterschiede bei der Reizpräsentation auf rechter oder linker Seite bei Linkshändern ($F_{1;15} = 1,0$; n.s.), ebenso wenig bei Analyse beider Gruppen.

Amplitude

Bei Linkshändern konnte an der CPz-Elektrode die größte P3-Amplitude abgeleitet werden (Elektrode $F_{2;30} = 3,6$; $p = 0,06$). Des Weiteren war die Amplitude bei linkem Zielreiz größer als bei rechtem Zielreiz ($F_{1;15} = 3,6$; $p = 0,06$).

Auch bei Analyse der Daten beider Experimente zeigten sich die größten Amplituden über der CPz-Elektrode (Elektrode $F_{2;60} = 8,5$; $p = 0,002$). Wie in Abbildung 3.7 zu erkennen, sind die Amplituden für Zielreizpräsentation links (rote Graphen) größer als für die Präsentation rechts (schwarze Graphen) ($F_{1;30} = 22,4$; $p < 0,001$). Die Händigkeit hatte keinen Effekt auf die Amplitude der P3-Komponente ($F_{1;30} < 0,5$; n.s.)

3.2.2.2 T2-evozierte P3

In Abbildung 3.8 werden die gemittelten Spannungsdaten der CPz-Elektrode von Links- und Rechtshändern im Zeitraum der T2-P3-Komponente dargestellt. Markiert sind jeweils der Zeitpunkt vom Erscheinen von T2 in Folge₁ und Folge₄. Abbildung 3.9 zeigt eine Topographie der EEG-Elektroden die farbliche Darstellung der Spannungswerte bei Evokation der T2-P3-Komponente bei Linkshändern nach Erscheinen beider Zielreize auf der linken Seite.

Abbildung 3.8

Auf der Abbildung sind die Zeitverläufe der gemittelten Spannungsdaten der CPz-Elektrode aller Versuchspersonen im Zeitraum vom Erscheinen der P3-Komponente nach Grundlinienkorrektur zu sehen. Die jeweiligen P3 Komponenten des ersten Zielreizes wurden herausgefiltert, indem die Durchgänge ohne zweiten Zielreiz von denen mit beiden Zielreizen subtrahiert wurden. Links sind die Daten der Linkshänder präsentiert, während rechts die Daten der Rechtshänder dargestellt sind. Der rote Graph stellt die Spannungsdaten bei Erscheinen des ersten Zielreizes auf der linken Seite dar, der schwarze Graph nach rechtsseitigem T1. Durchgehende Graphen präsentieren die Daten in Folge₁, während gestrichelte Graphen die Daten in Folge₄ zeigen. Das Erscheinen des zweiten Zielreizes ist entsprechend mit vertikalen Linien bei 130 ms bzw. 520 ms gekennzeichnet. 0 ms markiert das Erscheinen des ersten Zielreizes. 500 – 800 ms danach ist die P3 Komponente aus Folge₁ zu erkennen. Die P3 Komponente aus Folge₄ ist 900 – 1200 ms nach T1 zu sehen.

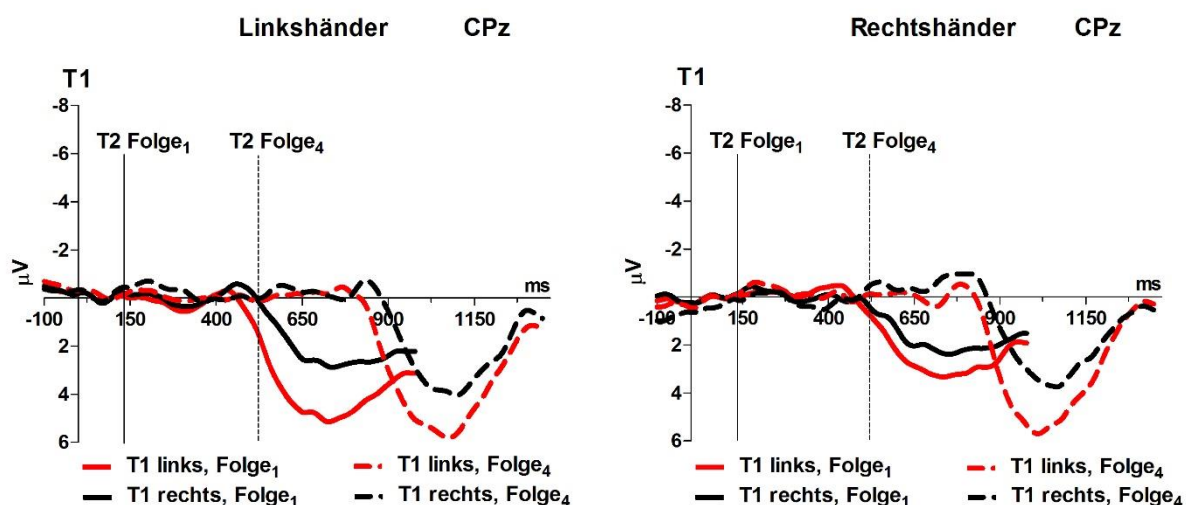
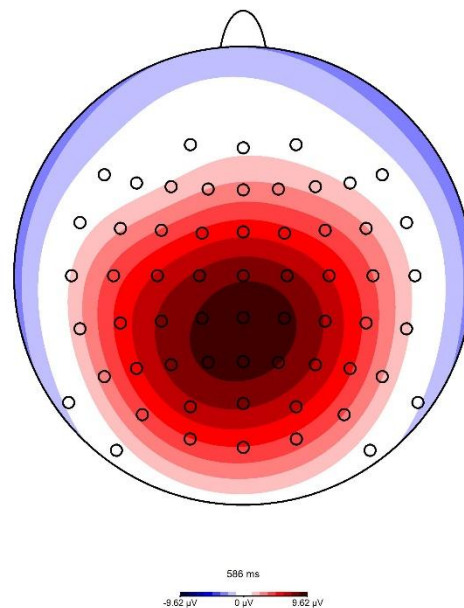


Abbildung 3.9

Über alle Versuchspersonen gemittelte Darstellung der Topographie im Zeitraum der P3-Komponente in Folge₁ bei Linkshändern. Beide Zielreize erschienen im linken visuellen Halbfeld.



Latenz

Bei Analyse der Daten beider Experimente erschien P3 etwas früher bei T2 im linken visuellen Halbfeld als bei T2 im rechten visuellen Halbfeld ($F_{1;30} = 4,1$; $p = 0,05$). Die P3-Komponente wurde in Folge₄ schneller evoziert als in Folge₁ ($F_{1;30} = 11,7$; $p = 0,004$). Die Händigkeit zeigt keinen Einfluss auf die Latenz der P3-Komponente ($F_{1;30} < 0,5$; n.s.).

Amplitude

Bei Linkshändern waren die P3-Amplituden etwas größer an der CPz-Elektrode als an den Pz- und POz-Elektroden (Elektrode $F_{2;30} = 2,9$; $p = 0,069$). Des Weiteren war die Amplitude größer mit T2 im linken visuellen Halbfeld als mit T2 im rechten visuellen Halbfeld (T2 Seite $F_{1;15} = 26,8$; $p < 0,001$).

Bei Analyse beider Experimente war die P3-Amplitude größer mit zweitem Zielreiz in Folge₄ als in Folge₁ (Latenz $F_{1;30} = 4,1$; $p = 0,05$), sowie bei Erscheinen von T2 auf linker statt auf rechter Seite (T2 Seite $F_{1;30} = 59,8$; $p < 0,001$). Die größte Differenz zeigte sich dabei an der Pz-Elektrode (Elektrode x T2 Seite $F_{2;60} = 4,4$; $p = 0,02$). Auch hier gab es keinen signifikanten Unterschied durch die Händigkeit ($F_{1;30} < 0,5$; n.s.).

3.2.3 Visuell evozierte Potenziale

In Abbildung 3.10 werden oben die VEP-Spannungsdaten der PO8- und PO7-Elektroden von Links- und Rechtshändern dargestellt. Unten sind die Spannungsdaten zum Vergleich der Händigkeiten jeweils in Daten der linken und der rechten parietooccipitalen Elektrode in zwei Graphen getrennt. Abbildung 3.11 zeigt die Topographien der EEG-Elektroden mit farblicher Darstellung der Spannungswerte der Elektroden bei den Spannungsgipfeln von P1 und N1.

Abbildung 3.10

Zu sehen sind die gemittelten VEP-Spannungsdaten aller Versuchspersonen. Die oberen beiden Graphen zeigen jeweils die Daten der parietooccipitalen Ableitungen der linken (PO7) und rechten Hemisphäre (PO8) im Vergleich. Die unteren Graphen umfassen jeweils die Daten der linken und rechten Hemisphäre. Hier ist der direkte Vergleich zwischen Links- und Rechtshändern möglich. Der Nullpunkt bei 0 ms kennzeichnet die Präsentation des ersten Distraktorenpaars. P1 ist die erste positive Amplitude bei ca. 100 ms. N1 markiert die erste negative Amplitude bei ca. 160 ms nach Erscheinen des ersten Distraktorenpaars. P1 und N1 sind exemplarisch im oberen linken Graphen mit einem Rahmen hervorgehoben.

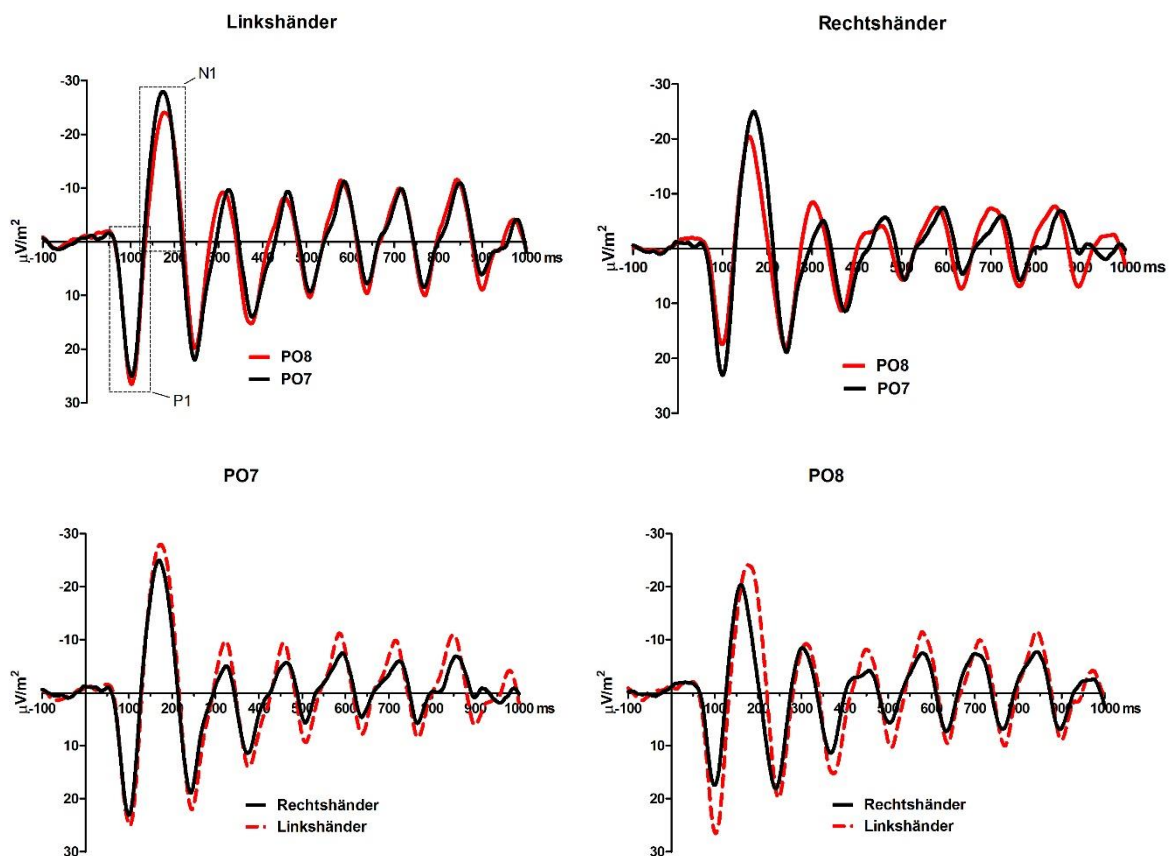
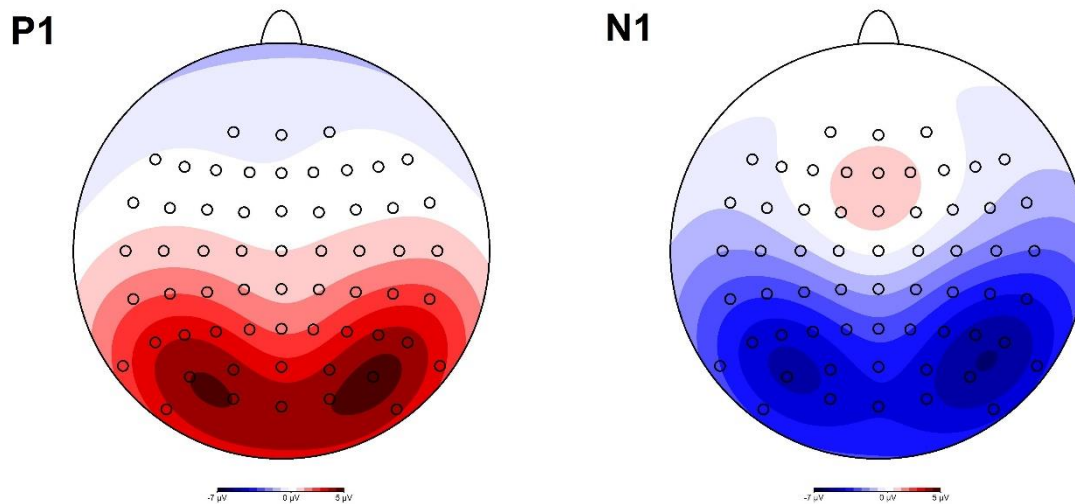


Abbildung 3.11

Zu sehen sind über Versuchspersonen gemittelte Topographien zum Zeitpunkt von P1 ca. 100 ms nach erstem Distraktorenpaar und zum Zeitpunkt von N1 ca. 160 ms nach erstem Distraktorenpaar.



Bei Linkshändern zeigte sich nach Kreuzkorrelation und anschließendem t-Test kein signifikanter Unterschied bei der Latenz der beiden Hemisphären ($t_{15} = -0,2$; n.s.). Bei Rechtshändern wurden die VEP über der rechten Hemisphäre (PO8) etwas früher ausgelöst als über der linken Hemisphäre (PO7) ($t_{15} = 2,9$; $p = 0,001$; Unterschied beider Gruppen $t_{30} = 7,7$; $p = 0,01$). Beim Vergleich zwischen Links- und Rechtshändern schien über der rechten Hemisphäre bei Rechtshändern die VEP früher evoziert zu werden als bei Linkshändern ($t_{30} = 2,0$; $p = 0,06$), während dieser Effekt über der linken Hemisphäre nicht zu beobachten war ($t_{30} = 0,1$; n.s.).

4 Diskussion

In dieser Arbeit wurden RSVP-Daten von Links- und Rechtshändern verglichen. Dies ermöglichte zum einen die Analyse der räumlichen Aufmerksamkeit bei Linkshändern und zum anderen, den Einfluss der Händigkeit auf den Vorteil des linken visuellen Halbfeldes zu untersuchen. Zielreize wurden in einem Strom von Distraktoren präsentiert, so dass sie schwer von diesen zu unterscheiden waren. Wie bereits vorherige Experimente zeigten, werden Zielreize im linken visuellen Halbfeld besser erkannt als im rechten visuellen Halbfeld (Scalf *et al.*, 2007; Verleger, Śmigasiewicz and Möller, 2011; Asanowicz, Śmigasiewicz and Verleger, 2013). Dieser Vorteil des linken visuellen Halbfeldes könnte auf eine Dominanz der rechten Hemisphäre bei der Erkennung dieser Stimuli hindeuten (Śmigasiewicz *et al.*, 2015; Śmigasiewicz, Westphal and Verleger, 2017b).

4.1 Erster Zielreiz - Identifikation und evozierte Potenziale

Bei der Identifikation des ersten Zielreizes zeigten sich überraschenderweise Unterschiede zwischen beiden Händigkeitsgruppen. So wurde der erste Zielreiz von Linkshändern besser identifiziert als von Rechtshändern, was für eine bessere kognitive Leistung in der Gruppe der Linkshänder sprechen könnte. Einige Studien zeigten passend dazu, dass Individuen mit einem geringeren Lateralisierungsgrad, wie bei Linkshändern in Studien beobachtet (Oldfield, 1971; Pujol *et al.*, 1999; Szaflarski *et al.*, 2002; A. Flöel *et al.*, 2005), bessere Ergebnisse bei visuell-räumlichen Aufgaben erzielten (Annett and Manning, 1989; Annett, 1992; Halpern, Haviland and Killian, 1998). Jedoch waren die Ergebnisse unabhängig von der Händigkeit der Probanden. Andere Studien wiederum zeigten keinen Zusammenhang zwischen Händigkeit oder größerer Lateralisierung und kognitiver Leistung (Newcombe *et al.*, 1975; McKeever and VanDeventer, 1977; McManus, Shergill and Bryden, 1993; Snyder and Harris, 1993; Mayringer and Wimmer, 2002) oder standen sogar mit der Assoziation von höherem Lateralisierungsgrad zu besserer kognitiver Leistung im Widerspruch zu unseren Ergebnissen (Crow *et al.*, 1998; Nettle, 2003; Corballis, Hattie and Fletcher, 2008; Chiarello *et al.*, 2009; Powell, Kemp and García-Finaña, 2012). So gibt es bei Rechtshändern Anzeichen für eine höhere Lateralisierung von kognitiven Funktionen als bei Linkshändern (Oldfield, 1971). Passend dazu schnitten in mehreren Studien mit kognitiven Aufgaben (Resch *et al.*, 1997; David W. Johnston *et al.*, 2009; Nicholls *et al.*, 2010) sowie visuell-räumlichen Aufgaben (Miller, 1971; McKeever, 1986) rechtshändige Probanden

besser ab als Linkshänder. Somit lässt sich insgesamt die bessere Identifikationsquote des ersten Zielreizes auf Grund der kontroversen Studienlage nicht erklären.

Da die bessere Zielreizidentifikation der Linkshänder nur beim ersten Zielreiz aufgetreten ist, während es bei der Identifikation des zweiten Zielreizes in Bezug auf die Händigkeit keinen signifikanten Unterschied gab (s. 4.2), könnte die Erklärung für den Identifikationsvorteil in der Prozessierung des ersten Zielreizes und den zielreizassoziierten ereigniskorrelierten Potenzialen zu finden sein. So wurde die N2pc auf T1 früher bei Rechtshändern als bei Linkshändern evoziert. Des Weiteren war nur bei Rechtshändern die T1-N2pc-Amplitude bei Zielreizpräsentation im rechten visuellen Halbfeld größer als im linken, während es bei Linkshändern keinen Unterschied gab. Deshalb könnte das frühere Auslösen von T1-N2pc bei Rechtshändern einen Nachteil bei der Identifikation des ersten Zielreizes darstellen. Da in unserem RSVP-Experiment Distraktoren und Zielreize als Buchstaben präsentiert wurden, ist eine Verwechslung des ersten Zielreizes mit einem Distraktor, vor allem bei schnellerer Selektion und Verarbeitung möglich (Treisman and Gelade, 1980; Treisman, 1996). Zusätzlich könnten die über der rechten Hemisphäre im Vergleich zur linken Hemisphäre niedrigeren T1-N2pc-Amplituden bei Rechtshändern auf eine ungleiche Verarbeitung des ersten Zielreizes in beiden Hemisphären im Sinne einer erschwerten rechtshemisphärischen Prozessierung hindeuten. Niedrigere T2-N2pc-Amplituden konnten bereits in einer vorherigen Studie mit erschwerter selektiver Aufmerksamkeit in Verbindung gebracht werden (Śmigasiwicz, Westphal and Verleger, 2017a). Bei Übertragung dieser Hypothese auf die Verarbeitung des ersten Zielreizes könnte die gleichmäßigere Verteilung der Prozessierung des ersten Zielreizes auf beide Hemisphären bei Linkshändern einen Vorteil bei der Identifikation des ersten Zielreizes bedeuten.

4.2 Zweiter Zielreiz - Identifikation und evozierte Potenziale

Wie bei früheren Experimenten mit schneller visueller Reizpräsentation wurde auch bei diesem Experiment der zweite Zielreiz besser im linken als im rechten visuellen Halbfeld erkannt. Hierbei zeigte sich kein Unterschied zwischen Links- und Rechtshändern. Dies könnte darauf hinweisen, dass die Händigkeit keinen Einfluss auf die Asymmetrie der Hemisphären bei Stimulus-gesteuerter Aufmerksamkeit hat. Ähnliche Ergebnisse zeigten auch andere Studien zur Lateralisierung der räumlichen Aufmerksamkeit in die rechte Hemisphäre, wie zum Beispiel fMRT-Studien mit verschiedenen Abwandlungen von

Aufgaben zur Erkennung von Linienhalbierung (Badzakova-Trajkov *et al.*, 2010; Powell, Kemp and García-Finaña, 2012; Zago *et al.*, 2016). Weiterhin wurde bei einer Studie mit visuell-provozierten Sakkaden die Lateralisierung in die rechte Hemisphäre deutlich (Petit *et al.*, 2015). Hierbei kam es zur Aktivierung des von Corbetta beschriebenen ventralen und dorsalen Aufmerksamkeitsnetzwerks (Corbetta and Shulman, 2002; Petit *et al.*, 2015). Im ventralen Aufmerksamkeitsnetzwerk kam es dabei bei beiden Händigkeitgruppen zur Lateralisierung in die rechte Hemisphäre. Im dorsalen Netzwerk kam es jedoch nur bei Linkshändern zur rechthemisphärischen Lateralisierung, während sich bei Rechtshändern die Ströme gleichmäßig auf beide Hemisphären verteilten. Dieses bilaterale Verteilungsmuster bei Rechtshändern zeigte sich bereits in vorherigen Studien (Shulman *et al.*, 2009, 2010; Szczepanski and Kastner, 2013).

Eine fMRT-Studie von Liu *et al.* steht im Widerspruch zu der Hypothese, dass die Händigkeit keinen Einfluss auf die Asymmetrie der Hemisphären bei Stimulus-gesteuerter Aufmerksamkeit habe (Liu *et al.*, 2009). Hier zeigte sich bei Rechtshändern eine deutlich stärkere Lateralisierung in die rechte Hemisphäre als bei Linkshändern. Da die Daten jedoch nicht im Zusammenhang mit einer Aufmerksamkeit erfordernden Aufgabe, sondern im Ruhezustand der Versuchsteilnehmer erhoben wurden, könnte der Unterschied zwischen Links- und Rechtshändern unter Aufmerksamkeit der Probanden verschwinden. Aus diesem Grund wird weiterhin von keinem Einfluss der Händigkeit auf die Hemisphärenasymmetrie bei Stimulus-gesteuerter Aufmerksamkeit ausgegangen.

Die Lateralisierung der Sprachfunktion bei Linkshändern wurde bei unserem Experiment nicht untersucht. Frühere Experimente ergaben eine linkshemisphärische Lateralisierung der Sprachfunktion bei Rechtshändern in 95 %. Bei Linkshändern zeigte sich dieser Effekt, mit linkshemisphärischer Lateralisierung in 75 %, deutlich weniger ausgeprägt (Knecht *et al.*, 2000; Szaflarski *et al.*, 2002; Isaacs *et al.*, 2006) und teilweise sogar mit Lateralisierung zur rechten Hemisphäre (McGlone and Davidson, 1973; Hardyck and Petrinovich, 1977; Steinmetz *et al.*, 1991; Pujol *et al.*, 1999; Szaflarski *et al.*, 2002; Mazoyer *et al.*, 2014). Linkshänder zeigten sich in diesem Aspekt deutlich variabler als Rechtshänder und dies ist somit auch für unsere Studie zu vermuten. Unter diesen Voraussetzungen steht unsere Studie im Widerspruch zu der Hypothese, dass die Lateralisierung der räumlichen Aufmerksamkeit zu der einen Hemisphäre ein Nebeneffekt der Lateralisierung der Sprachfunktion zur anderen Hemisphäre sei (Bryden, Hécaen and DeAgostini, 1983; Cai, Van der Haegen and Brysbaert, 2013). Die variabelere Lateralisierung der Sprachfunktion bei Linkshändern müsste laut der Hypothese auch eine variabelere Lateralisierung der

räumlichen Aufmerksamkeit bei Linkshändern zur Folge haben. Dieser Effekt zeigte sich bei unserer Studie zur räumlichen Aufmerksamkeit jedoch nicht. Unsere Ergebnisse deuten eher auf eine voneinander unabhängige Lateralisierung und Entwicklung der räumlichen Aufmerksamkeit und der Sprachfunktion hin (Whitehouse and Bishop, 2009; Lust *et al.*, 2011; Rosch, Bishop and Badcock, 2012).

Auch bei Potenzialen, die durch den zweiten Zielreiz evoziert wurden, zeigte sich der Vorteil des linken visuellen Halbfeldes. So erschien die N2pc früher bei linksseitig präsentierem T2 als bei rechtsseitigem T2. Die P3-Amplitude war größer bei linkem T2 als bei rechtem T2. Die gleichen Effekte waren bereits in früheren Experimenten mit dualer RSVP zu beobachten (Verleger, Śmigasiewicz and Möller, 2011; Śmigasiewicz *et al.*, 2015). Vermutlich ist dies mit der Dominanz der rechten Hemisphäre bei der Verarbeitung der visuellen Aufmerksamkeit zu erklären. Die schnellere Prozessierung von visuellen Reizen aus dem linken visuellen Halbfeld als aus dem rechten visuellen Halbfeld schafft mehr Zeit und Möglichkeit zur Verarbeitung weiterer visueller Reize, wie den zweiten Zielreiz. Dies führt zu einer sichereren Antwort oder besseren Verarbeitung im Arbeitsgedächtnis, dessen Funktion bereits in RSVP Studien mit evozierten P3 beschrieben wurden (Sessa *et al.*, 2007; Craston *et al.*, 2009). Wie bei der Erkennung des zweiten Zielreizes gab es auch bei den T2-evozierten Potenzialen keinen Unterschied zwischen Rechts- und Linkshändern.

4.3 Visuell evozierte Potenziale

Bei den visuell evozierten Potenzialen zeigten sich interessanterweise Unterschiede zwischen Links- und Rechtshändern. So erschienen bei Rechtshändern wie bereits bei früheren Experimenten mit RSVP (Verleger, Śmigasiewicz and Möller, 2011; Verleger, Dittmer and Smigasiewicz, 2013; Śmigasiewicz *et al.*, 2014) die VEP über der rechten Hemisphäre früher als über der linken. In einer Studie von *Asanowicz et al.* (Asanowicz *et al.*, 2017) wurden diese Ergebnisse mit einer besseren frühen Selektion und Verarbeitung des Wahrgenommenen in der rechten Hemisphäre erklärt. Hierbei wurde im ersten Teil des Experimentes für die Evokation der visuell evozierten Potenziale bekannte Stimuli wie arabische Zahlen und lateinische Buchstaben, sowie mit tibetischen Buchstaben unbekannte Stimuli verwendet, die dennoch ähnlich prozessiert werden. Beim zweiten Teil des Experimentes wurde die räumliche Aufmerksamkeit bereits im Vorfeld auf ein visuelles Feld gelenkt. Trotz dieser Modifikationen konnte der Vorteil der rechten Hemisphäre bei VEP in jedem Teil des Experimentes nachgewiesen werden. Bei Linkshändern zeigte sich

dagegen in unserer Studie kein Unterschied der VEP bei Erscheinen der Zielreize auf linker oder rechter Seite. Beim Vergleich der VEP-Daten beider Hemisphären der Händigkeitgruppen separat zeigte sich, dass dieser fehlende Unterschied der Linkshänder daran lag, dass die VEP über der rechten Hemisphäre früher bei Rechtshändern als bei Linkshändern evoziert wurde, während über der linken Hemisphäre beim Händigkeitsvergleich kein Unterschied sichtbar wurde.

Dies könnte darauf hindeuten, dass die vorher beobachtete Hemisphärenasymmetrie bei visuell evozierten Potenzialen keine Beziehung zur Lateralisierung der räumlichen Aufmerksamkeit im Sinne eines Vorteils des linken visuellen Halbfeldes hat. Trotz Vorhandensein des Vorteils des linken visuellen Halbfeldes in beiden Händigkeitgruppen, gab es bei Linkshändern im Gegensatz zu Rechtshändern keine Asymmetrie der VEP beider Hemisphären. Auch bei der oben angesprochenen Studie (Asanowicz *et al.*, 2017) gab es keine Korrelation 55 untersuchten Probanden zwischen dem Ausmaß des Vorteils des linken visuellen Halbfeldes und der Asymmetrie bei VEP. Dies würde also gegen vorherige Theorien sprechen, in denen eine Beziehung zwischen der Lateralisierung der räumlichen Aufmerksamkeit und der Asymmetrie bei VEP angenommen wurde. Hier wurde die schnellere Verarbeitung der Distraktoren in der rechten Hemisphäre für eine schnellere Auswahl der Zielreize im linken visuellen Halbfeld vorausgesetzt.

Für den Einfluss der Händigkeit auf die Asymmetrie der VEP gibt es mögliche Erklärungen: So könnte ein Zusammenhang zwischen der Hemisphärenasymmetrie bei VEP und der linkshemisphärischen Überlegenheit bei der Verarbeitung von Buchstaben und Worten bestehen (Asanowicz *et al.*, 2017). Die rechte Hemisphäre wäre dabei nur für die Verarbeitung einiger globaler Prozesse verantwortlich, während die restliche Verarbeitung und sprachliche Analyse von der linken Hemisphäre übernommen würde. Da wir in dieser Arbeit als Distraktoren und Zielreize Buchstaben verwendeten und diese schnell aufeinanderfolgend in beiden Gesichtsfeldern präsentiert wurden, könnte es zu einer Überlastung der linken Hemisphäre bei der Verarbeitung dieser Reize aus beiden Sichtfeldern gekommen sein. VEP würden so eher in der rechten als in der linken Hemisphäre ausgelöst werden. Für diese Hypothese spricht, dass sich das visuelle Wortform-Areal (engl. visual word form area, VWFA) (Cohen *et al.*, 2000; Cohen and Dehaene, 2004; Cai *et al.*, 2008, 2010; Van der Haegen, Cai and Brysbaert, 2012) und andere Areale zur Verarbeitung von Wörtern und Sprache (Gold and Rastle, 2007) bei einem Großteil der Rechtshänder im linkshemisphärischen occipitotemporalen Bereich wie dem Gyrus fusiformis befinden. Das visuelle Wortform-Areal ist für die Verarbeitung der

Buchstabendarstellung, wie zum Beispiel Form, Größe, räumliche Anordnung oder Schriftart entscheidend (Cohen and Dehaene, 2004; Dehaene and Cohen, 2011). Die Verarbeitung der präsentierten Buchstaben bei Rechtshändern in unserer Studie würde also in der linken Hemisphäre erfolgen. Bei Linkshändern lässt sich auf Grund der hemisphärischen Variabilität der Verarbeitung anderer Reize auch eine größere Variabilität in der Sprachverarbeitung und in der Lateralisierung des visuellen Wortform-Areals oder möglicherweise auch eine bilaterale Verarbeitung vermuten. Jedoch gibt es keine Studien, die eine geringere Lateralisierungstendenz des visuellen Wortform-Areals bei Linkshändern nachweisen. Eine Möglichkeit ist, dass sich bei Rechtshändern meist im rechtshemisphärischen Gyrus fusiformis befindende fusiforme Gesichtsareal (engl. fusiform face area, FFA) als entsprechendes Areal für das meist linkshemisphärische visuelle Wortform Areal anzunehmen. Das fusiforme Gesichtsareal hat bei der Verarbeitung und Erkennung von Gesichtern eine große Bedeutung (Kanwisher, McDermott and Chun, 1997). Schädigungen in diesem Areal führen häufig zur Prosopagnosie, also der Unfähigkeit, Gesichter zu Erkennen (Sergent and Signoret, no date; De Renzi, 1986; De Renzi *et al.*, 1991; Wada and Yamamoto, 2001; Barton, 2008; Busigny *et al.*, 2010). Studien mit Einschluss beider Händigkeitgruppen zeigten bereits, dass bei Linkshändern ein deutlich größerer Anteil der Gesichtserkennung bilateral oder linkshemisphärisch geschieht als bei Rechtshändern (Bukowski *et al.*, 2013; Dundas, Plaut and Behrmann, 2015). Es wird davon ausgegangen, dass die Lateralisierung des fusiformen Gesichtsareals sich auf Grund der Konkurrenz mit dem visuellen Wortform-Areal, das sich auch im Gyrus fusiformis befindet, entsteht (Hasson *et al.*, 2002; Dundas, Plaut and Behrmann, 2013, 2014). So zeigen Kinder eine mit dem Alter (Scherf *et al.*, 2007; Cohen Kadosh *et al.*, 2011; Joseph, Gathers and Bhatt, 2011) und Buchstabenwissen (Cantlon *et al.*, 2011) steigende Lateralisierungstendenz bei der Gesichtserkennung. Erst mit Erreichen der Adoleszenz erreichen Kinder eine ähnliche Lateralisierung des dem fusiformen Gesichtsareal entsprechenden Bereichs wie Erwachsene (Aylward *et al.*, 2005).

Daher ist zu vermuten, dass bei einer geringeren rechtshemisphärischen Lateralisierung des fusiformen Gesichtsareals bei Linkshändern auch das visuelle Wortform-Areal eine stärkere bilaterale oder rechtshemisphärische Lateralisierungstendenz zeigt. Dafür spricht, dass Alexie⁶ bei rechtshemisphärischen Hirnläsionen häufiger bei Links- als bei Rechtshändern auftritt (Leśniak *et al.*, 2014).

Eine weitere Erklärung wäre, dass visuell evozierte Potenziale bei schneller visueller Reizpräsentation eine Hemisphärenasymmetrie in einer frühen Phase der Verarbeitung

⁶ Verlust der Lesefähigkeit

visueller Informationen darstellen (Asanowicz *et al.*, 2017). Passend dazu gab es bereits andere Studien, die die Asymmetrie zwischen den Hemisphären bei der Verarbeitung von Stimuli zeigen konnten. Bei Studien zur Verarbeitung von Reizen mit unterschiedlicher Ortsfrequenz zeigte sich ein Vorteil der rechten Hemisphäre bei niedrigen Ortsfrequenzen und ein Vorteil der linken Hemisphäre bei hohen Ortsfrequenzen (Kitterle, Christman and Hellige, 1990; Christman, Kitterle and Hellige, 1991; Piazza and Silver, 2014, 2017). Eine weitere Studie ergab Hinweise auf Unterschiede in den Hemisphärenasymmetrien zwischen Links- und Rechtshändern bei der Verarbeitung von unterschiedlichen Ortsfrequenzen (Christman, 1989). Auch bei anderen Studien zur Verarbeitung von Reizen mit Gegenüberstellung der globalen Zusammensetzung und örtlichen Merkmale waren Hemisphärenasymmetrien zu beobachten (Delis, Robertson and Efron, 1986; Polich and Aguilar, 1990; Robertson and Lamb, 1991). Im linken oder rechten visuellen Feld erschienen dabei Formen, die entweder rechteckig oder quadratisch waren und zusätzlich in ihrer Detailstruktur aus Rechtecken oder Quadraten bestanden. Die Probanden sollten die äußere Form sowie die Form der Bestandteile erkennen. Dabei zeigte sich, dass vor allem die Größe und Anordnung der Formen die effizientere Verarbeitung in den Hemisphären beeinflussen (Polich and Aguilar, 1990). Ein weiteres Zeichen der Hemisphärenasymmetrie ist die Überlegenheit der rechten Hemisphäre bei der Verarbeitung der Stereotiefe (Richards, 1970; Grabowska, 1983). Diese Überlegenheit der rechten Hemisphäre wurde auch bei einer Studie über Merkmalsextraktion beobachtet (Hellige and Webster, 1979). Trotz Vorteil der linken Hemisphäre bei der Sprachverarbeitung wurden Buchstaben im linken visuellen Halbfeld unter Maskierung mit Mustern ähnlich oder unterschiedlich zum Buchstaben besser erkannt als im rechten visuellen Halbfeld. Dies wurde als Vorteil der rechten Hemisphäre bei sehr frühen Stadien der Verarbeitung von visuell-räumlichen Reizen interpretiert (Bryden and Allard, 1976; Hellige and Webster, 1979). Speziell für die Merkmalsextraktion wurde bei einer weiteren Studie die bei Rechtshändern beobachtete Überlegenheit der rechten Hemisphäre bestätigt. Bei Linkshändern zeigte sich jedoch ein Vorteil der linken Hemisphäre (Polich and Morgan, 1994). Auch Studien mit Ableitung von VEP, hervorgerufen durch sinusförmige oder quadratische Gitter zu räumlicher und zeitlicher Frequenz (Rebai *et al.*, 1989; Rebai, Bagot and Viggiano, 1993; Rebai *et al.*, 1997) erbrachten ähnliche Ergebnisse. Bei Rechtshändern wurden bei niedriger zeitlicher Frequenz über der rechten Hemisphäre größere VEP-Amplituden abgeleitet als über der linken. Je höher die räumliche Frequenz, desto größer der Unterschied zwischen linker und rechter Hemisphäre zu Gunsten der rechten Hemisphäre, was wiederum auf eine bessere Verarbeitung räumlicher Reize

hindeutet. Bei Linkshändern zeigte sich der Effekt der Lateralisierung weniger systematisch und ließ kein genaues Muster erkennen. Vermutlich hängt die Lateralisierung nicht nur von spezieller räumlicher und zeitlicher Interaktion (Rebai *et al.*, 1989), sondern auch vom Vorliegen familiärer Linkshändigkeit ab (Rebaï *et al.*, 1997). Bei Versuchspersonen mit familiärer Linkshändigkeit gab es keine Lateralisierungstendenz. Zusätzlich war der Einfluss von Händigkeit, räumlicher oder zeitlicher Frequenz auf die Asymmetrie der Hemisphären hier nur über der rechten Hemisphäre festzustellen. Insgesamt zeigen diese Studien eine Spezialisierungs- und Lateralisierungstendenz der Hemisphären bei der frühen Verarbeitung von visuellen Reizen, die sich bei Links- und Rechtshändern unterscheidet, und beschreiben geringere Lateralisierungstendenzen bei Linkshändern. Diese eher bilaterale Verarbeitung bei Linkshändern wird allgemein verschiedenen Funktionen (Hardyck and Petrinovich, 1977), wie zum Beispiel der Verarbeitung visueller (Beaumont and Dimond, 1975; Davidoff, 1975) oder akustischer (Satz *et al.*, 1965; Curry, 1967) Reize zugeordnet. Daher könnte man denken, dass die geringere Hemisphärenasymmetrie bei Erzeugung der visuell evozierten Potenziale bei Linkshändern in unserer Studie eine größere Variabilität der VEP-Latenzdifferenzen zwischen den Hemisphären als bei Rechtshändern zur Folge hätte. Jedoch war im Gegenteil die Latenzdifferenz beider Hemisphären bei Rechtshändern (Mittelwert = 11 ms; SD = 15,8; Minimum -4 ms; Maximum 50 ms) variabler als bei Linkshändern (Mittelwert = 0,3 ms; SD = 5,5; Minimum -8 ms; Maximum 14 ms). Daher scheint das Fehlen der Hemisphärenasymmetrie bei der Evokation von VEP bei Linkshändern nicht im Zusammenhang mit einer größeren Variabilität in der Reizverarbeitung bei Linkshändern zu stehen. Eher ist, wie bereits bei anderen Studien postuliert (Rebai *et al.*, 1989; Rebaï *et al.*, 1997), eine geringere Lateralisierung und größere Variabilität bei Ableitung der VEP-Parameter bei Linkshändern als Grund für die Ergebnisse unserer Studie anzunehmen.

5 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde der Einfluss der Händigkeit auf den Vorteil des linken visuellen Halbfeldes bei schneller visueller Reizpräsentation untersucht. Dafür wurden Rechts- und Linkshänder zwei parallelen Strömen von schnell aufeinanderfolgenden visuellen Informationen (RSVP) in ihrem linken und rechten visuellen Halbfeld ausgesetzt. Die schnelle Folge visueller Reize soll die Aufmerksamkeitsprozesse an ihre Kapazitätsgrenzen bringen. Es wurden in jedem Durchgang zufällig je ein blauer Buchstabe als erster Zielreiz (T1) und eine schwarze Zahl als zweiter Zielreiz (T2) in einem von zwei parallelen Strömen aus schwarzen Buchstaben, den Distraktoren, präsentiert. Diese Zielreize galt es zu identifizieren. In früheren Experimenten bei Rechtshändern mit einer solchen schnell aufeinanderfolgender Präsentation von zwei simultanen Stimulusströmen konnte ein Identifikationsvorteil des zweiten Zielreizes bei Erscheinen im linken visuellen Halbfeld festgestellt werden. Dies wird als Vorteil des linken visuellen Halbfeldes bezeichnet. Hinweise für den Vorteil zeigen sich auch in parallel über Elektroenzephalogramm abgeleiteten ereigniskorrelierten Potenzialen. P3-Spannungsamplituden, die dritte größere positive Spannungsamplitude und ausgelöst durch seltene oder unerwartete relevante Ereignisse, waren bei linkem zweiten Zielreiz größer als bei rechtem. Zusätzlich konnte durch den zweiten Zielreiz evozierte Aktivierung am visuellen Kortex (N2pc-Komponente) rechtshemisphärisch früher abgeleitet werden. Diese Komponente lässt sich über dem temporo-posterioren Kortex als zweite größere negative Amplitude nach Präsentation von zwei parallelen Stimulusströmen mit Zielreizen ableiten und wird mit einem rechtshemisphärischen Selektionsvorteil von relevanten Stimuli in Verbindung gebracht. Gleiche Effekte konnten für Linkshänder in dieser Arbeit ausgelöst werden. Somit scheint die Händigkeit den Vorteil des linken visuellen Halbfeldes nicht zu beeinflussen.

Jedoch zeigten sich Unterschiede zwischen den Händigkeitsgruppen bei der Auslösung von visuell evozierten Potenzialen (VEP). Diese werden unspezifisch von optischen Reizen ausgelöst und gelten als Korrelate für die Wahrnehmung und frühe Verarbeitung visueller Informationen. Während bei Rechtshändern visuell evozierte Potenziale früher rechts- als linkshemisphärisch erschienen, gab es in der Gruppe der Linkshänder keinen signifikanten zeitlichen Unterschied bei Ableitung der visuell evozierten Potenziale. Möglicherweise nimmt die Händigkeit also Einfluss auf die Lateralisierung von Wahrnehmungs- anstatt auf die Lateralisierung von Aufmerksamkeitsprozessen.

6 Literaturverzeichnis

- Anderson, B. A., Laurent, P. A. and Yantis, S. (2011) 'Value-driven attentional capture', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(25), pp. 10367–10371. doi: 10.1073/pnas.1104047108.
- Anderson, J. R. (2013) 'Aufmerksamkeit und Leistung', in Funke, J. (ed.) *Kognitive Psychologie*. 7th edn. New York: Springer VS, pp. 53–74.
- Annett, M. (1970) 'A classification of hand preference by association analysis.', *British journal of psychology (London, England : 1953)*, 61(3), pp. 303–21.
- Annett, M. (1992) 'Spatial ability in subgroups of left-and right-handers', *British Journal of Psychology*, 83(4), pp. 493–515. doi: 10.1111/j.2044-8295.1992.tb02455.x.
- Annett, M. and Alexander, M. P. (1996) 'Atypical cerebral dominance: predictions and tests of the right shift theory.', *Neuropsychologia*, 34(12), pp. 1215–27.
- Annett, M. and Manning, M. (1989) 'The disadvantages of dextrality for intelligence.', *British journal of psychology (London, England : 1953)*, 80 (Pt 2), pp. 213–26.
- Asanowicz, D. et al. (2017) 'A right hemisphere advantage at early cortical stages of processing alphanumeric stimuli. Evidence from electrophysiology.', *Brain and cognition*, 113, pp. 40–55. doi: 10.1016/j.bandc.2017.01.007.
- Asanowicz, D., Smigasiewicz, K. and Verleger, R. (2013) 'Differences between visual hemifields in identifying rapidly presented target stimuli: letters and digits, faces, and shapes.', *Frontiers in psychology*, 4, p. 452. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00452.
- Aylward, E. H. et al. (2005) 'Brain Activation during Face Perception: Evidence of a Developmental Change', *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(2), pp. 308–319. doi: 10.1162/0898929053124884.
- Badzakova-Trajkov, G. et al. (2010) 'Cerebral asymmetries: complementary and independent processes.', *PloS one*, 5(3), p. e9682. doi: 10.1371/journal.pone.0009682.
- Bálint, R. and Harvey, M. (1995) 'Psychic paralysis of gaze, optic ataxia, and spatial disorder of attention', *Cognitive Neuropsychology*, 12(3), pp. 265–281. doi: 10.1080/02643299508251999.
- Bareham, C. A. et al. (2015) 'Does left-handedness confer resistance to spatial bias?', *Scientific Reports*, 5(1), p. 9162. doi: 10.1038/srep09162.
- Barnard, P. J. et al. (2004) 'Paying attention to meaning.', *Psychological science*, 15(3), pp. 179–86. doi: 10.1111/j.0956-7976.2004.01503006.x.
- Barton, J. J. S. (2008) 'Structure and function in acquired prosopagnosia: lessons from a series of 10 patients with brain damage.', *Journal of neuropsychology*, 2(Pt 1), pp. 197–225.
- Beaumont, G. and Dimond, S. (1975) 'Interhemispheric transfer of figural information in right- and non-right-handed subjects.', *Acta psychologica*, 39(2), pp. 97–104.
- Bermúdez de Castro, J., Bromage, T. G. and Jalvo, Y. F. (1988) 'Buccal striations on fossil human anterior teeth: evidence of handedness in the middle and early Upper Pleistocene', *Journal of Human Evolution*, 17(4), pp. 403–412. doi: 10.1016/0047-2484(88)90029-2.
- Bowman, H. and Wyble, B. (2007) 'The simultaneous type, serial token model of temporal attention and working memory.', *Psychological review*, 114(1), pp. 38–70. doi: 10.1037/0033-295X.114.1.38.

Breitmeyer, B. G. *et al.* (1999) 'The roles of location specificity and masking mechanisms in the attentional blink.', *Perception & psychophysics*, 61(5), pp. 798–809.

Broadbent, D. E. (1958) 'Selective Listening to Speech', in *Perception and communication*. Oxford, UK: Pergamon Press, pp. 11–35.

Broadbent, D. E. and Broadbent, M. H. (1987) 'From detection to identification: response to multiple targets in rapid serial visual presentation.', *Perception & psychophysics*, 42(2), pp. 105–13.

Broca, P. (1865) 'Sur le siège de la faculté du langage articulé', *Bulletins de la Société d'anthropologie de Paris*, 6(1), pp. 377–393. doi: 10.3406/bmsap.1865.9495.

Bryden, M. P. (1977) 'Measuring handedness with questionnaires.', *Neuropsychologia*, 15(4–5), pp. 617–24.

Bryden, M. P. and Allard, F. (1976) 'Visual hemifield differences depend on typeface.', *Brain and language*, 3(2), pp. 191–200.

Bryden, M. P., Hécaen, H. and DeAgostini, M. (1983) 'Patterns of cerebral organization.', *Brain and language*, 20(2), pp. 249–62.

Bukowski, H. *et al.* (2013) 'Cerebral lateralization of face-sensitive areas in left-handers: only the FFA does not get it right.', *Cortex; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior*, 49(9), pp. 2583–9. doi: 10.1016/j.cortex.2013.05.002.

Busigny, T. *et al.* (2010) 'Acquired prosopagnosia as a face-specific disorder: ruling out the general visual similarity account.', *Neuropsychologia*, 48(7), pp. 2051–67. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2010.03.026.

Cai, Q. *et al.* (2008) 'Cerebral Lateralization of Frontal Lobe Language Processes and Lateralization of the Posterior Visual Word Processing System', *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(4), pp. 672–681. doi: 10.1162/jocn.2008.20043.

Cai, Q. *et al.* (2010) 'The left ventral occipito-temporal response to words depends on language lateralization but not on visual familiarity.', *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)*, 20(5), pp. 1153–63. doi: 10.1093/cercor/bhp175.

Cai, Q., Van der Haegen, L. and Brysbaert, M. (2013) 'Complementary hemispheric specialization for language production and visuospatial attention', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(4), pp. E322–E330. doi: 10.1073/pnas.1212956110.

Cantlon, J. F. *et al.* (2011) 'Cortical representations of symbols, objects, and faces are pruned back during early childhood.', *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)*, 21(1), pp. 191–9. doi: 10.1093/cercor/bhq078.

Chatagny, P. *et al.* (2013) 'Distinction between hand dominance and hand preference in primates: a behavioral investigation of manual dexterity in nonhuman primates (macaques) and human subjects', *Brain and Behavior*, 3(5), pp. 575–595. doi: 10.1002/brb3.160.

Cherry, E. C. (1953) 'Some Experiments on the Recognition of Speech, with One and with Two Ears', *The Journal of the Acoustical Society of America*, 25(5), pp. 975–979. doi: 10.1121/1.1907229.

Chi, J. G., Dooling, E. C. and Gilles, F. H. (1977) 'Left-right asymmetries of the temporal speech areas of the human fetus.', *Archives of neurology*, 34(6), pp. 346–8.

Chiarello, C. *et al.* (2009) 'Does degree of asymmetry relate to performance? An

- investigation of word recognition and reading in consistent and mixed handers.', *Brain and cognition*, 69(3), pp. 521–30. doi: 10.1016/j.bandc.2008.11.002.
- Christman, S. (1989) 'Temporal integration of form as a function of subject handedness and retinal locus of presentation.', *Neuropsychologia*, 27(11–12), pp. 1373–82.
- Christman, S., Kitterle, F. L. and Hellige, J. (1991) 'Hemispheric asymmetry in the processing of absolute versus relative spatial frequency.', *Brain and cognition*, 16(1), pp. 62–73.
- Chua, F. K., Goh, J. and Hon, N. (2001) 'Nature of codes extracted during the attentional blink.', *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, 27(5), pp. 1229–42.
- Chun, M. M. (2011) 'Visual working memory as visual attention sustained internally over time.', *Neuropsychologia*, 49(6), pp. 1407–9. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2011.01.029.
- Chun, M. M. and Potter, M. C. (1995) 'A two-stage model for multiple target detection in rapid serial visual presentation.', *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, 21(1), pp. 109–27.
- Cohen, L. et al. (2000) 'The visual word form area: spatial and temporal characterization of an initial stage of reading in normal subjects and posterior split-brain patients.', *Brain: a journal of neurology*, 123 (Pt 2, pp. 291–307.
- Cohen, L. and Dehaene, S. (2004) 'Specialization within the ventral stream: the case for the visual word form area', *NeuroImage*, 22(1), pp. 466–476. doi: 10.1016/j.neuroimage.2003.12.049.
- Cohen Kadosh, K. et al. (2011) 'Developmental Changes in Effective Connectivity in the Emerging Core Face Network', *Cerebral Cortex*, 21(6), pp. 1389–1394. doi: 10.1093/cercor/bhq215.
- Corballis, M. C. (2003) 'From mouth to hand: gesture, speech, and the evolution of right-handedness.', *The Behavioral and brain sciences*, 26(2), pp. 199-208–60.
- Corballis, M. C., Hattie, J. and Fletcher, R. (2008) 'Handedness and intellectual achievement: An even-handed look', *Neuropsychologia*, 46(1), pp. 374–378. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2007.09.009.
- Corbetta, M. et al. (1991) 'Selective and divided attention during visual discriminations of shape, color, and speed: functional anatomy by positron emission tomography.', *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience*, 11(8), pp. 2383–402.
- Corbetta, M. et al. (1993) 'A PET study of visuospatial attention.', *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience*, 13(3), pp. 1202–26.
- Corbetta, M. and Shulman, G. L. (2002) 'Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain.', *Nature reviews. Neuroscience*, 3(3), pp. 201–15. doi: 10.1038/nrn755.
- Craston, P. et al. (2009) 'The attentional blink reveals serial working memory encoding: evidence from virtual and human event-related potentials.', *Journal of cognitive neuroscience*, 21(3), pp. 550–66. doi: 10.1162/jocn.2009.21036.
- Crow, T. J. et al. (1998) 'Relative hand skill predicts academic ability: global deficits at the point of hemispheric indecision.', *Neuropsychologia*, 36(12), pp. 1275–82.

- Curry, F. K. W. (1967) 'A Comparison of Left-Handed and Right-Handed Subjects on Verbal and Non-Verbal Dichotic Listening Tasks', *Cortex*, 3(3), pp. 343–352. doi: 10.1016/S0010-9452(67)80022-4.
- Damasio, A. R. (1989) 'The Brain Binds Entities and Events by Multiregional Activation from Convergence Zones', *Neural Computation*, 1(1), pp. 123–132. doi: 10.1162/neco.1989.1.1.123.
- David W. Johnston *et al.* (2009) 'Nature's Experiment?: Handedness and Early Childhood Development', *Demography*, 46(2), pp. 281–301. doi: 10.1353/dem.0.0053.
- Davidoff, J. B. (1975) 'Hemispheric differences in the perception of lightness.', *Neuropsychologia*, 13(1), pp. 121–4.
- Dehaene, S. and Cohen, L. (2011) 'The unique role of the visual word form area in reading.', *Trends in cognitive sciences*, 15(6), pp. 254–62. doi: 10.1016/j.tics.2011.04.003.
- Dehaene, S., Sergent, C. and Changeux, J.-P. (2003) 'A neuronal network model linking subjective reports and objective physiological data during conscious perception.', *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(14), pp. 8520–5. doi: 10.1073/pnas.1332574100.
- Delis, D. C., Robertson, L. C. and Efron, R. (1986) 'Hemispheric specialization of memory for visual hierarchical stimuli.', *Neuropsychologia*, 24(2), pp. 205–14.
- Deppe, M. *et al.* (2000) 'Assessment of hemispheric language lateralization: a comparison between fMRI and fTCD.', *Journal of cerebral blood flow and metabolism: official journal of the International Society of Cerebral Blood Flow and Metabolism*, 20(2), pp. 263–8. doi: 10.1097/00004647-200002000-00006.
- Deutsch, J. A. and Deutsch, D. (1963) 'Attention: Some theoretical considerations', *Psychological Review*, 70(1), pp. 51–60. doi: 10.1037/h0042712.
- Donchin, E. (1981) 'Surprise!? Surprise?', *Psychophysiology*, 18(5), pp. 493–513. doi: 10.1111/j.1469-8986.1981.tb01815.x.
- Donchin, E. and Coles, M. G. H. (1988) 'Is the P300 component a manifestation of context updating?', *Behavioral and Brain Sciences*, 11(3), p. 357. doi: 10.1017/S0140525X00058027.
- Dundas, E. M., Plaut, D. C. and Behrmann, M. (2013) 'The joint development of hemispheric lateralization for words and faces.', *Journal of experimental psychology. General*, 142(2), pp. 348–58. doi: 10.1037/a0029503.
- Dundas, E. M., Plaut, D. C. and Behrmann, M. (2014) 'An ERP investigation of the co-development of hemispheric lateralization of face and word recognition.', *Neuropsychologia*, 61, pp. 315–23. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2014.05.006.
- Dundas, E. M., Plaut, D. C. and Behrmann, M. (2015) 'Variable left-hemisphere language and orthographic lateralization reduces right-hemisphere face lateralization.', *Journal of cognitive neuroscience*, 27(5), pp. 913–25. doi: 10.1162/jocn_a_00757.
- Egley, R., Driver, J. and Rafal, R. D. (1994) 'Shifting visual attention between objects and locations: evidence from normal and parietal lesion subjects.', *Journal of experimental psychology. General*, 123(2), pp. 161–77.
- Eimer, M. (1996) 'The N2pc component as an indicator of attentional selectivity', *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 99(3), pp. 225–234. doi:

10.1016/0013-4694(96)95711-9.

Eriksen, C. W. and Hoffman, J. E. (1973) 'The extent of processing of noise elements during selective encoding from visual displays', *Perception & Psychophysics*, 14(1), pp. 155–160. doi: 10.3758/BF03198630.

Ettlinger, G., Jackson, C. V. and Zangwill, O. L. (1956) 'Cerebral dominance in sinistrals', *Brain*, 79(4), pp. 569–588. doi: 10.1093/brain/79.4.569.

Evans, K. K. and Treisman, A. (2005) 'Perception of objects in natural scenes: is it really attention free?', *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, 31(6), pp. 1476–92. doi: 10.1037/0096-1523.31.6.1476.

Faurie, C. and Raymond, M. (2004) 'Handedness frequency over more than ten thousand years', *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 271(Suppl_3), pp. S43–S45. doi: 10.1098/rsbl.2003.0092.

Flöel, A. et al. (2005) 'Atypical Hemispheric Dominance for Attention: Functional MRI Topography', *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, 25(9), pp. 1197–1208. doi: 10.1038/sj.jcbfm.9600114.

Flöel, A. et al. (2005) 'Hemispheric lateralization of spatial attention in right- and left-hemispheric language dominance', *Behavioural Brain Research*, 158(2), pp. 269–275. doi: 10.1016/j.bbr.2004.09.016.

Folk, C. L. and Remington, R. (1998) 'Selectivity in distraction by irrelevant featural singletons: evidence for two forms of attentional capture.', *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, 24(3), pp. 847–58.

Gandhi, S. P., Heeger, D. J. and Boynton, G. M. (1999) 'Spatial attention affects brain activity in human primary visual cortex.', *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96(6), pp. 3314–9.

Gold, B. T. and Rastle, K. (2007) 'Neural correlates of morphological decomposition during visual word recognition.', *Journal of cognitive neuroscience*, 19(12), pp. 1983–93. doi: 10.1162/jocn.2007.19.12.1983.

Goldstein, E. B. (2015) *Wahrnehmungspsychologie*. Edited by K. R. Gegenfurtner. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-642-55074-4.

Goodglass, H. and Quadfasel, F. A. (1954) 'Language laterality in left-handed aphasics', *Brain*, 77(4), pp. 521–548. doi: 10.1093/brain/77.4.521.

Grabowska, A. (1983) 'Lateral differences in the detection of stereoscopic depth.', *Neuropsychologia*, 21(3), pp. 249–57.

Guestrin, E. D. and Eizenman, M. (2006) 'General theory of remote gaze estimation using the pupil center and corneal reflections.', *IEEE transactions on bio-medical engineering*, 53(6), pp. 1124–33. doi: 10.1109/TBME.2005.863952.

Van der Haegen, L., Cai, Q. and Brysbaert, M. (2012) 'Colateralization of Broca's area and the visual word form area in left-handers: fMRI evidence.', *Brain and language*, 122(3), pp. 171–8. doi: 10.1016/j.bandl.2011.11.004.

Halpern, D. F., Haviland, M. G. and Killian, C. D. (1998) 'Handedness and sex differences in intelligence: evidence from the medical college admission test.', *Brain and cognition*, 38(1), pp. 87–101. doi: 10.1006/brcg.1998.1021.

- Hardyck, C. and Petrinovich, L. F. (1977) 'Left-handedness.', *Psychological Bulletin*, 84(3), pp. 385–404. doi: 10.1037/0033-2909.84.3.385.
- Harris, L. J. (1991) 'Cerebral control for speech in right-handers and left-handers: an analysis of the views of Paul Broca, his contemporaries, and his successors.', *Brain and language*, 40(1), pp. 1–50.
- Harris, L. J. (1993) 'Broca on Cerebral Control for Speech in Right-Handers and Left-Handers: A Note on Translation and Some Further Comments', *Brain and Language*, 45(1), pp. 108–120. doi: <http://dx.doi.org/10.1006/brln.1993.1037>.
- Harvey, M., Milner, A. D. and Roberts, R. C. (1995) 'An investigation of hemispatial neglect using the Landmark Task.', *Brain and cognition*, 27(1), pp. 59–78. doi: 10.1006/brcg.1995.1004.
- Hasson, U. *et al.* (2002) 'Eccentricity bias as an organizing principle for human high-order object areas.', *Neuron*, 34(3), pp. 479–90.
- Hellige, J. B. and Webster, R. (1979) 'Right hemisphere superiority for initial stages of letter processing.', *Neuropsychologia*, 17(6), pp. 653–60.
- Hendriks, A. W. (1994) 'Visual agnosia: Disorders of object recognition and what they tell us about normal vision', *Acta Psychologica*, 85(1), pp. 80–85. doi: 10.1016/0001-6918(94)90023-X.
- Hepper, P. G., McCartney, G. R. and Shannon, E. A. (1998) 'Lateralised behaviour in first trimester human fetuses.', *Neuropsychologia*, 36(6), pp. 531–4.
- Hering-Hanit, R. *et al.* (2001) 'Asymmetry of fetal cerebral hemispheres: in utero ultrasound study.', *Archives of disease in childhood. Fetal and neonatal edition*, 85(3), pp. F194-6.
- Holländer, A. *et al.* (2005) 'Sex hormonal modulation of hemispheric asymmetries in the attentional blink.', *Journal of the International Neuropsychological Society: JINS*, 11(3), pp. 263–72. doi: 10.1017/S1355617705050319.
- Holländer, A., Corballis, M. C. and Hamm, J. P. (2005) 'Visual-field asymmetry in dual-stream RSVP.', *Neuropsychologia*, 43(1), pp. 35–40. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2004.06.006.
- Isaacs, K. L. *et al.* (2006) 'Degree of handedness and cerebral dominance.', *Neurology*, 66(12), pp. 1855–8. doi: 10.1212/01.wnl.0000219623.28769.74.
- Isaacs, K. L. *et al.* (2009) 'Degree of handedness and cerebral dominance Degree of handedness and cerebral dominance', pp. 1855–1859. doi: 10.1212/01.wnl.0000219623.28769.74.
- Isaak, M. I., Shapiro, K. L. and Martin, J. (1999) 'The attentional blink reflects retrieval competition among multiple rapid serial visual presentation items: tests of an interference model.', *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, 25(6), pp. 1774–92.
- Jolicoeur, P. (1999) 'Restricted attentional capacity between sensory modalities.', *Psychonomic bulletin & review*, 6(1), pp. 87–92.
- Joseph, J. E., Gathers, A. D. and Bhatt, R. S. (2011) 'Progressive and regressive developmental changes in neural substrates for face processing: testing specific predictions of the Interactive Specialization account.', *Developmental science*, 14(2), pp. 227–41. doi: 10.1111/j.1467-7687.2010.00963.x.

- Jurcak, V., Tsuzuki, D. and Dan, I. (2007) '10/20, 10/10, and 10/5 systems revisited: Their validity as relative head-surface-based positioning systems', *NeuroImage*, 34(4), pp. 1600–1611. doi: 10.1016/j.neuroimage.2006.09.024.
- Kanwisher, N., McDermott, J. and Chun, M. M. (1997) 'The fusiform face area: a module in human extrastriate cortex specialized for face perception.', *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 17(11), pp. 4302–11.
- Kayser, J. and Tenke, C. E. (2015) 'Hemifield-dependent N1 and event-related theta/delta oscillations: An unbiased comparison of surface Laplacian and common EEG reference choices.', *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology*, 97(3), pp. 258–70. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2014.12.011.
- Kiefer, M. and Brendel, D. (2006) 'Attentional modulation of unconscious "automatic" processes: evidence from event-related potentials in a masked priming paradigm.', *Journal of cognitive neuroscience*, 18(2), pp. 184–98. doi: 10.1162/089892906775783688.
- Kitterle, F. L., Christman, S. and Hellige, J. B. (1990) 'Hemispheric differences are found in the identification, but not the detection, of low versus high spatial frequencies.', *Perception & psychophysics*, 48(4), pp. 297–306.
- Knecht, S. et al. (2000) 'Language lateralization in healthy right-handers.', *Brain : a journal of neurology*, 123 (Pt 1, pp. 74–81.
- Knecht, S. et al. (2003) 'How atypical is atypical language dominance?', *NeuroImage*, 18(4), pp. 917–27.
- Koch, C. and Crick, R. (1994) 'Some Further Ideas Regarding the Neuronal Basis of Awareness', in Koch, C. and Davis, J. L. (eds) *Large-scale neuronal theories of the Brain*. Cambridge, MA, USA: MIT Press, pp. 93–109.
- Kranczioch, C., Debener, S. and Engel, A. K. (2003) 'Event-related potential correlates of the attentional blink phenomenon.', *Brain research. Cognitive brain research*, 17(1), pp. 177–87.
- Lawrence, D. H. (1971) 'Two studies of visual search for word targets with controlled rates of presentation*', *Perception & Psychophysics*, 10(2), pp. 85–89. doi: 10.3758/BF03214320.
- Leśniak, M. et al. (2014) 'Pure alexia after damage to the right fusiform gyrus in a right-handed male.', *Neurologia i neurochirurgia polska*, 48(5), pp. 373–7. doi: 10.1016/j.pjnns.2014.09.003.
- Liebrand, M. (2014) *Die Hemisphärenasymmetrie bei schneller visueller Reizpräsentation und ihr Ausbleiben*. Universität zu Lübeck.
- Liu, H. et al. (2009) 'Evidence from intrinsic activity that asymmetry of the human brain is controlled by multiple factors.', *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(48), pp. 20499–20503. doi: 10.1073/pnas.0908073106.
- Liu, Q. et al. (2016) 'The effect of modulating top-down attention deployment on the N2pc/PCN.', *Biological psychology*, 117, pp. 187–193. doi: 10.1016/j.biopsycho.2016.04.004.
- Lozano, M. et al. (2009) *Right handedness of Homo heidelbergensis from Sima de los Huesos (Atapuerca, Spain) 500,000 years ago*, *Evolution and Human Behavior*. doi: 10.1016/j.evolhumbehav.2009.03.001.
- Luck, S. J. et al. (1996) 'Mechanisms of visual-spatial attention: resource allocation or

- uncertainty reduction?', *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22(3), pp. 725–737. doi: 10.1037/0096-1523.22.3.725.
- Luck, S. J., Fan, S. and Hillyard, S. A. (1993) 'Attention-related modulation of sensory-evoked brain activity in a visual search task.', *Journal of cognitive neuroscience*, 5(2), pp. 188–95. doi: 10.1162/jocn.1993.5.2.188.
- Luck, S. J. and Hillyard, S. A. (1994) 'Electrophysiological correlates of feature analysis during visual search.', *Psychophysiology*, 31(3), pp. 291–308.
- Luck, S. J. and Kappenman, E. S. (2013) 'ERP Components: The Ups and Downs of Brainwave Recordings', in Luck, S. J. and Kappenman, E. S. (eds) *The oxford handbook of event-related potential components*. New York: Oxford University Press, pp. 3–30.
- Luck, S. J., Vogel, E. K. and Shapiro, K. L. (1996) 'Word meanings can be accessed but not reported during the attentional blink.', *Nature*, 383(6601), pp. 616–8. doi: 10.1038/383616a0.
- Lust, J. M. *et al.* (2011) 'Functional cerebral lateralization and dual-task efficiency-testing the function of human brain lateralization using fTCD.', *Behavioural brain research*, 217(2), pp. 293–301. doi: 10.1016/j.bbr.2010.10.029.
- Mangun, G. R., Hillyard, S. A. and Luck, S. J. (1993) 'Attention and Performance XIV (Silver Jubilee Volume)', in Meyer, D. E. and Kornblum, S. (eds). Cambridge, MA, USA: MIT Press, pp. 219–243.
- Marshall, R. S. *et al.* (1997) 'Changes in regional cerebral blood flow related to line bisection discrimination and visual attention using HMPAO-SPECT.', *NeuroImage*, 6(2), pp. 139–44. doi: 10.1006/nimg.1997.0283.
- Martens, S. and Wyble, B. (2010) 'The attentional blink: Past, present, and future of a blind spot in perceptual awareness', *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 34(6), pp. 947–957. doi: 10.1016/j.neubiorev.2009.12.005.
- Mayringer, H. and Wimmer, H. (2002) 'No deficits at the point of hemispheric indecision.', *Neuropsychologia*, 40(7), pp. 701–4.
- Mazoyer, B. *et al.* (2014) 'Gaussian Mixture Modeling of Hemispheric Lateralization for Language in a Large Sample of Healthy Individuals Balanced for Handedness', *PLoS ONE*. Edited by C. Soriano-Mas, 9(6), p. e101165. doi: 10.1371/journal.pone.0101165.
- McGlone, J. and Davidson, W. (1973) 'The relation between cerebral speech laterality and spatial ability with special reference to sex and hand preference.', *Neuropsychologia*, 11(1), pp. 105–13.
- McKeever, W. F. (1986) 'The influences of handedness, sex, familial sinistrality and androgyny on language laterality, verbal ability, and spatial ability.', *Cortex; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior*, 22(4), pp. 521–37.
- McKeever, W. F. and VanDeventer, A. D. (1977) 'Failure to confirm a spatial ability impairment in persons with evidence of right hemisphere speech capability.', *Cortex; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior*, 13(3), pp. 321–6.
- McManus, I. C. (2009) 'The history and geography of human handedness'.
- McManus, I. C. (1996) 'Handedness', in Beaumont, J. G., Kenealy, P. M., and Rogers, M. J. C. (eds) *The Blackwell Dictionary of Neuropsychology*. Oxford, UK: Blackwell, pp. 367–376. doi: 10.1212/WNL.49.3.65A-a.

- McManus, I. C. (2012) 'Handedness, cerebral lateralization, and the evolution of language', *The Descent of Mind: Psychological Perspectives on Hominid Evolution*, pp. 194–217. doi: 10.1093/acprof:oso/9780192632593.003.0011.
- McManus, I. C., Shergill, S. and Bryden, M. P. (1993) 'Annett's theory that individuals heterozygous for the right shift gene are intellectually advantaged: Theoretical and empirical problems', *British Journal of Psychology*, 84(4), pp. 517–537. doi: 10.1111/j.2044-8295.1993.tb02500.x.
- Miller, E. (1971) 'Handedness and the Pattern of Human Ability', *British Journal of Psychology*, 62(1), pp. 111–112. doi: 10.1111/j.2044-8295.1971.tb02018.x.
- Moore, C. M., Yantis, S. and Vaughan, B. (1998) 'Object-Based Visual Selection: Evidence From Perceptual Completion', *Psychological Science*, 9(2), pp. 104–110. doi: 10.1111/1467-9280.00019.
- Moran, J. and Desimone, R. (1985) 'Selective attention gates visual processing in the extrastriate cortex.', *Science (New York, N.Y.)*, 229(4715), pp. 782–4.
- Morrow, L. A. and Ratcliff, G. (1988) 'The disengagement of covert attention and the neglect syndrome', *Psychobiology*, 16(3), pp. 261–269. doi: 10.3758/BF03327316.
- 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 neurophysiology*, 70(3), pp. 909–19.
- Motter, B. C. (1994) 'Neural correlates of attentive selection for color or luminance in extrastriate area V4.', *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 14(4), pp. 2178–89.
- Nettle, D. (2003) 'Hand laterality and cognitive ability: a multiple regression approach.', *Brain and cognition*, 52(3), pp. 390–8.
- Newcombe, F. G. *et al.* (1975) 'Hand preference and I.Q. in a group of Oxfordshire villages.', *Annals of human biology*, 2(3), pp. 235–42. doi: 10.1080/03014467500000811.
- Nicholls, M. E. R. *et al.* (2010) 'The relationship between hand preference, hand performance, and general cognitive ability.', *Journal of the International Neuropsychological Society : JINS*, 16(4), pp. 585–92. doi: 10.1017/S1355617710000184.
- Nieuwenhuis, S. *et al.* (2005) 'The role of the locus coeruleus in mediating the attentional blink: a neurocomputational theory.', *Journal of experimental psychology. General*, 134(3), pp. 291–307. doi: 10.1037/0096-3445.134.3.291.
- Nobre, A. C. *et al.* (1997) 'Functional localization of the system for visuospatial attention using positron emission tomography.', *Brain : a journal of neurology*, 120 (Pt 3, pp. 515–33.
- Nunez, P. and Srinivasan, R. (2007) 'Electroencephalogram', *Scholarpedia*, 2(2), p. 1348. doi: 10.4249/scholarpedia.1348.
- O'Craven, K. M. *et al.* (1997) 'Voluntary attention modulates fMRI activity in human MT-MST.', *Neuron*, 18(4), pp. 591–8.
- Okon-Singer, H. *et al.* (2011) 'Spatio-temporal indications of sub-cortical involvement in leftward bias of spatial attention.', *NeuroImage*, 54(4), pp. 3010–20. doi: 10.1016/j.neuroimage.2010.10.078.
- Oldfield, R. C. (1971) 'The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh

- inventory.', *Neuropsychologia*, 9(1), pp. 97–113.
- Perelle, I. B. and Ehrman, L. (1994) 'An international study of human handedness: The data', *Behavior Genetics*, 24(3), pp. 217–227. doi: 10.1007/BF01067189.
- Perrin, F. *et al.* (1989) 'Spherical splines for scalp potential and current density mapping.', *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 72(2), pp. 184–7.
- Perrin, F. *et al.* (1990) 'Corrigenda EEG 02274', *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 76, p. 565.
- Pesciarelli, F. *et al.* (2007) 'Semantic and repetition priming within the attentional blink: an event-related brain potential (ERP) investigation study.', *Biological psychology*, 76(1–2), pp. 21–30. doi: 10.1016/j.biopsycho.2007.05.003.
- Petit, L. *et al.* (2015) 'Strong rightward lateralization of the dorsal attentional network in left-handers with right sighting-eye: An evolutionary advantage', *Human Brain Mapping*, 36(3), pp. 1151–1164. doi: 10.1002/hbm.22693.
- Piazza, E. A. and Silver, M. A. (2014) 'Persistent hemispheric differences in the perceptual selection of spatial frequencies.', *Journal of cognitive neuroscience*, 26(9), pp. 2021–7. doi: 10.1162/jocn_a_00606.
- Piazza, E. A. and Silver, M. A. (2017) 'Relative Spatial Frequency Processing Drives Hemispheric Asymmetry in Conscious Awareness', *Frontiers in Psychology*, 8. doi: 10.3389/fpsyg.2017.00559.
- Polich, J. (2007) 'Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b', *Clinical Neurophysiology*, 118(10), pp. 2128–2148. doi: 10.1016/j.clinph.2007.04.019.
- Polich, J. and Aguilar, V. (1990) 'Hemispheric local/global processing revisited.', *Acta psychologica*, 74(1), pp. 47–60.
- Polich, J. and Morgan, C. D. (1994) 'Handedness and hemispheric differences for feature perturbations.', *Brain and cognition*, 25(2), pp. 220–34. doi: 10.1006/brcg.1994.1032.
- Posner, M. I., Snyder, C. R. and Davidson, B. J. (1980) 'Attention and the detection of signals.', *Journal of experimental psychology*, 109(2), pp. 160–74.
- Posner, M., J. Nissen, M. and C. Ogden, W. (1978) *Attended and unattended processing modes: The role of set for spatial location, Modes of Perceiving and Processing Information*.
- Potter, M. C. (1976) 'Short-term conceptual memory for pictures.', *Journal of experimental psychology. Human learning and memory*, 2(5), pp. 509–22.
- Powell, J. L., Kemp, G. J. and García-Finaña, M. (2012) 'Association between language and spatial laterality and cognitive ability: An fMRI study', *NeuroImage*, 59(2), pp. 1818–1829. doi: 10.1016/j.neuroimage.2011.08.040.
- Pritchard, W. S. (1981) 'Psychophysiology of P300.', *Psychological bulletin*, 89(3), pp. 506–40.
- Pujol, J. *et al.* (1999) 'Cerebral lateralization of language in normal left-handed people studied by functional MRI.', *Neurology*, 52(5), pp. 1038–43.
- Raymond, J. E., Shapiro, K. L. and 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(3), pp. 849–60.

- Raymond, M. and Pontier, D. (2004) 'Is there geographical variation in human handedness?', *Laterality*, 9(1), pp. 35–51. doi: 10.1080/13576500244000274.
- Rebai, M. *et al.* (1989) 'Influence of spatial frequency and handedness on hemispheric asymmetry in visually steady-state evoked potentials.', *Neuropsychologia*, 27(3), pp. 315–24.
- Rebai, M. *et al.* (1997) 'Hemispheric asymmetries of visual evoked potentials in relation to spatial frequency, handedness and familial left-handedness.', *International journal of psychophysiology: official journal of the International Organization of Psychophysiology*, 25(2), pp. 85–95.
- Rebai, M., Bagot, J. D. and Viggiano, M. P. (1993) 'Hemispheric asymmetry in transient visual evoked potentials induced by the spatial factor of the stimulation.', *Brain and cognition*, 23(2), pp. 263–78. doi: 10.1006/brcg.1993.1059.
- De Renzi, E. (1986) 'Prosopagnosia in two patients with CT scan evidence of damage confined to the right hemisphere.', *Neuropsychologia*, 24(3), pp. 385–9.
- De Renzi, E. *et al.* (1991) 'Apperceptive and associative forms of prosopagnosia.', *Cortex; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior*, 27(2), pp. 213–21.
- Resch, F. *et al.* (1997) 'Testing the hypothesis of the relationships between laterality and ability according to Annett's right-shift theory: findings in an epidemiological sample of young adults.', *British journal of psychology (London, England : 1953)*, 88 (Pt 4), pp. 621–35.
- Richards, W. (1970) 'Stereopsis and stereoblindness.', *Experimental brain research*, 10(4), pp. 380–8.
- Robertson, L. C. (2003) 'Binding, spatial attention and perceptual awareness', *Nature Reviews Neuroscience*, 4(2), pp. 93–102. doi: 10.1038/nrn1030.
- Robertson, L. C. and Lamb, M. R. (1991) 'Neuropsychological contributions to theories of part/whole organization.', *Cognitive psychology*, 23(2), pp. 299–330.
- Robertson, L. C. and Rafal, R. (1999) 'Disorders of visual attention', in Gazzaniga, M. S. (ed.) *The new cognitive neuroscience*. 2nd edn. Cambridge, MA, USA: MIT Press, pp. 633–650.
- Roelfsema, P. R., Lamme, V. A. and Spekreijse, H. (1998) 'Object-based attention in the primary visual cortex of the macaque monkey.', *Nature*, 395(6700), pp. 376–81. doi: 10.1038/26475.
- Roff, D. A. and Preziosi, R. (1994) 'The estimation of the genetic correlation: the use of the jackknife', *Heredity*. London: Oliver and Boyd, 1947-, 73(5), pp. 544–548.
- Rolke, B. *et al.* (2001) 'Missed prime words within the attentional blink evoke an N400 semantic priming effect.', *Psychophysiology*, 38(2), pp. 165–74.
- Rosch, R. E., Bishop, D. V. M. and Badcock, N. A. (2012) 'Lateralised visual attention is unrelated to language lateralisation, and not influenced by task difficulty - A functional transcranial Doppler study', *Neuropsychologia*. Elsevier Ltd, 50(5), pp. 810–815. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2012.01.015.
- Satz, P. *et al.* (1965) 'Order of Report, Ear Asymmetry and Handedness in Dichotic Listening', *Cortex*, 1(4), pp. 377–396. doi: 10.1016/S0010-9452(65)80001-6.

- Scalf, P. E. *et al.* (2007) 'Double take: parallel processing by the cerebral hemispheres reduces attentional blink.', *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, 33(2), pp. 298–329. doi: 10.1037/0096-1523.33.2.298.
- Schall, J. D. and Hanes, D. P. (1993) 'Neural basis of saccade target selection in frontal eye field during visual search', *Nature*, 366(6454), pp. 467–469. doi: 10.1038/366467a0.
- Scherf, K. S. *et al.* (2007) 'Visual category-selectivity for faces, places and objects emerges along different developmental trajectories.', *Developmental science*, 10(4), pp. F15-30. doi: 10.1111/j.1467-7687.2007.00595.x.
- Sergent, J. and Signoret, J. L. (no date) 'Varieties of functional deficits in prosopagnosia.', *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)*, 2(5), pp. 375–88.
- Sessa, P. *et al.* (2007) 'P3 latency shifts in the attentional blink: further evidence for second target processing postponement.', *Brain research*, 1137(1), pp. 131–9. doi: 10.1016/j.brainres.2006.12.066.
- Shapiro, K. L., Raymond, J. E. and 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(2), pp. 357–71.
- Shulman, G. L. *et al.* (2009) 'Interaction of Stimulus-Driven Reorienting and Expectation in Ventral and Dorsal Frontoparietal and Basal Ganglia-Cortical Networks', *Journal of Neuroscience*, 29(14), pp. 4392–4407. doi: 10.1523/JNEUROSCI.5609-08.2009.
- Shulman, G. L. *et al.* (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(10), pp. 3640–51. doi: 10.1523/JNEUROSCI.4085-09.2010.
- Simons, D. J. and Chabris, C. F. (1999) 'Gorillas in our midst: sustained inattention blindness for dynamic events.', *Perception*, 28(9), pp. 1059–74. doi: 10.1068/p281059.
- Smigasiewicz, K. *et al.* (2010) 'Left visual-field advantage in the dual-stream RSVP task and reading-direction: a study in three nations.', *Neuropsychologia*, 48(10), pp. 2852–60. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2010.05.027.
- Śmigasiewicz, K. *et al.* (2014) 'Deployment and release of interhemispheric inhibition in dual-stream rapid serial visual presentation.', *Biological psychology*, 99, pp. 47–59. doi: 10.1016/j.biopsycho.2014.02.008.
- Śmigasiewicz, K. *et al.* (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(2), pp. 266–79. doi: 10.1162/jocn_a_00714.
- Śmigasiewicz, K., Westphal, N. and Verleger, R. (2017a) 'Leftward bias in orienting to and disengaging attention from salient task-irrelevant events in rapid serial visual presentation', *Neuropsychologia*, 94, pp. 96–105. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2016.11.025.
- Śmigasiewicz, K., Westphal, N. and Verleger, R. (2017b) 'Leftward bias in orienting to and disengaging attention from salient task-irrelevant events in rapid serial visual presentation.', *Neuropsychologia*, 94, pp. 96–105. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2016.11.025.
- Snyder, P. J. and Harris, L. J. (1993) 'Handedness, sex, and familial sinistrality effects on spatial tasks.', *Cortex; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior*, 29(1), pp. 115–34.

- Steinmetz, H. *et al.* (1991) 'Anatomical left-right asymmetry of language-related temporal cortex is different in left- and right-handers.', *Annals of neurology*, 29(3), pp. 315–9. doi: 10.1002/ana.410290314.
- Szaflarski, J. P. *et al.* (2002) 'Language lateralization in left-handed and ambidextrous people: fMRI data.', *Neurology*, 59(2), pp. 238–244. doi: 10.1212/WNL.59.2.238.
- Szczepanski, S. M. and Kastner, S. (2013) 'Shifting attentional priorities: control of spatial attention through hemispheric competition.', *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 33(12), pp. 5411–21. doi: 10.1523/JNEUROSCI.4089-12.2013.
- Teng, E. L. *et al.* (1976) 'Handedness in a Chinese population: biological, social, and pathological factors', *Science*, 193(4258), pp. 1148–1150. doi: 10.1126/science.986686.
- Treisman, A. (1964) 'Monitoring and storage of irrelevant messages in selective attention', *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 3(6), pp. 449–459. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-5371\(64\)80015-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-5371(64)80015-3).
- Treisman, A. (1996) 'The binding problem.', *Current opinion in neurobiology*, 6(2), pp. 171–8.
- Treisman, A. M. and Gelade, G. (1980) 'A feature-integration theory of attention.', *Cognitive psychology*, 12(1), pp. 97–136.
- Treue, S. and Maunsell, J. H. (1996) 'Attentional modulation of visual motion processing in cortical areas MT and MST.', *Nature*, 382(6591), pp. 539–41. doi: 10.1038/382539a0.
- Ullman, S. (1984) 'Visual routines.', *Cognition*, 18(1–3), pp. 97–159.
- Vallar, G. (1998) 'Spatial hemineglect in humans.', *Trends in cognitive sciences*, 2(3), pp. 87–97.
- Verleger, R. *et al.* (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(3), pp. 474–88. doi: 10.1162/jocn.2009.21038.
- Verleger, R. *et al.* (2010) 'The left visual-field advantage in rapid visual presentation is amplified rather than reduced by posterior-parietal rTMS.', *Experimental brain research*, 203(2), pp. 355–65. doi: 10.1007/s00221-010-2237-z.
- Verleger, R., Dittmer, M. and Smigasiewicz, K. (2013) 'Cooperation or competition of the two hemispheres in processing characters presented at vertical midline.', *PloS one*, 8(2), p. e57421. doi: 10.1371/journal.pone.0057421.
- Verleger, R., Jaśkowski, P. and Wascher, E. (2005) 'Evidence for an Integrative Role of P3b in Linking Reaction to Perception', *Journal of Psychophysiology*, 19(3), pp. 165–181. doi: 10.1027/0269-8803.19.3.165.
- Verleger, R., Śmigasiewicz, K. and 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(8), pp. 1096–106. doi: 10.1111/j.1469-8986.2011.01176.x.
- Visser, T., Bischof, W. and Di Lollo, V. (1999) *Attentional switching in spatial and nonspatial domains: Evidence from the attentional blink*, *Psychological Bulletin*. doi: 10.1037/0033-2909.125.4.458.

- Vogel, E. K. and Luck, S. J. (2002) 'Delayed working memory consolidation during the attentional blink.', *Psychonomic bulletin & review*, 9(4), pp. 739–43.
- Vogel, J. J., Bowers, C. A. and Vogel, D. S. (2003) 'Cerebral lateralization of spatial abilities: a meta-analysis.', *Brain and cognition*, 52(2), pp. 197–204.
- Wada, J. A., Clarke, R. and Hamm, A. (1975) 'Cerebral hemispheric asymmetry in humans. Cortical speech zones in 100 adults and 100 infant brains.', *Archives of neurology*, 32(4), pp. 239–46.
- Wada, Y. and Yamamoto, T. (2001) 'Selective impairment of facial recognition due to a haematoma restricted to the right fusiform and lateral occipital region.', *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry*, 71(2), pp. 254–7.
- Weichselgartner, E. and Sperling, G. (1987) 'Dynamics of automatic and controlled visual attention.', *Science (New York, N. Y.)*, 238(4828), pp. 778–80.
- Weintraub, S. and Mesulam, M. M. (1987) 'Right cerebral dominance in spatial attention. Further evidence based on ipsilateral neglect.', *Archives of neurology*, 44(6), pp. 621–5.
- Whitehouse, A. J. O. and Bishop, D. V. M. (2009) 'Hemispheric division of function is the result of independent probabilistic biases.', *Neuropsychologia*, 47(8–9), pp. 1938–43. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2009.03.005.
- Willems, R. M. *et al.* (2014) 'On the other hand: including left-handers in cognitive neuroscience and neurogenetics', *Nature Reviews Neuroscience*. Nature Publishing Group, 15(3), pp. 193–201. doi: 10.1038/nrn3679.
- Wojciulik, E., Kanwisher, N. and Driver, J. (1998) 'Covert visual attention modulates face-specific activity in the human fusiform gyrus: fMRI study.', *Journal of neurophysiology*, 79(3), pp. 1574–8.
- Wyble, B., Bowman, H. and Nieuwenstein, M. (2009) 'The attentional blink provides episodic distinctiveness: Sparing at a cost.', *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(3), pp. 787–807. doi: 10.1037/a0013902.
- Wyble, B., Bowman, H. and Potter, M. C. (2009) 'Categorically defined targets trigger spatiotemporal visual attention.', *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, 35(2), pp. 324–37. doi: 10.1037/a0013903.
- Zago, L. *et al.* (2016) 'The association between hemispheric specialization for language production and for spatial attention depends on left-hand preference strength.', *Neuropsychologia*, 93(Pt B), pp. 394–406. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2015.11.018.

7 Anhang

Händigkeitstest

Datum _____ Versuchsperson Nr. _____

Name: _____

Telefon: _____

Geburtsdatum: _____

Email: _____

Straße: _____

Plz./Wohnort: _____

Geschlecht (bitte ankreuzen) weiblich männlich

Medikamente: _____

Haben Sie gesundheitliche Beschwerden? Wenn ja, welche?

ja _____ nein

Ausbildung (Zutreffendes ankreuzen): Realschulabschluss Abitur
Berufsausbildung Studium Sonstiges

derzeitige Tätigkeit: berufstätig, wenn ja, was? _____
selbstständig, wenn ja, was? _____ Sonstiges: _____

Tragen Sie eine Brille? ja nein

Händigkeit: Bitte **2 Kreuze** für bevorzugte Hand oder je **1 Kreuz** bei beidseitiger Benutzung

Mit welcher **Hand**...

schreiben Sie?	links	rechts
zeichnen Sie?	links	rechts
werfen Sie einen Ball?	links	rechts
benutzen Sie eine Schere?	links	rechts
putzen Sie Ihre Zähne?	links	rechts
schneiden Sie mit einem Messer? (ohne Gabel)	links	rechts
benutzen Sie einen Löffel?	links	rechts
fegen Sie? (obere Hand am Besen)	links	rechts
zünden Sie Streichhölzer an?	links	rechts
öffnen Sie einen Behälter?	links	rechts

Mit welchem **Fuß** schießen Sie beim Fußball bevorzugt? links rechts

Mit welchem **Auge** gucken Sie, wenn Sie nur eines benutzen? links rechts

Teilnehmeraufklärung

UNIVERSITÄTSKLINIKUM Schleswig-Holstein
 Campus Lübeck
Klinik für Neurologie
 Direktor: Prof. Dr. med. Thomas Münte
 Universitätsklinikum S-H, Klinik für Neurologie, Ratzeburger Allee 160, 23535 Lübeck

Campus Lübeck

Unser Zeichen:

Auskunft erteilt:
 Prof. Dr. Rolf Verleger, Dipl.-Psych

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

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 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.

Universitätsklinikum Schleswig-Holstein
 Anstalt des öffentlichen Rechts

Bankverbindung:
 Dresdener Bank Lübeck Nr.: 3 000 412 00 (BLZ 230 800 40)
 Postbank Hamburg Nr.: 38 56 51 – 207 (BLZ 200 100 20)

Einwilligungserklärung

UNIVERSITÄTSKLINIKUM Schleswig-Holstein
Campus Lübeck
Klinik für Neurologie
Direktor: Prof. Dr. med. Thomas Münte
Universitätsklinikum S-H, Klinik für Neurologie, Ratzeburger Allee 160, 23535 Lübeck

Campus Lübeck

Unser Zeichen:

Auskunft erteilt:
Prof. Dr. Rolf Verleger, Dipl.-Psych

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

Einwilligungserklärung der Studienteilnehmerin/ des Studienteilnehmers

Von Frau/Herrn _____
geboren am _____.

Herr Johannes Landmesser hat mich anhand der schriftlichen Teilnehmererklärung über meine Teilnahme an der wissenschaftlichen Studie informiert und ich konnte alle mich interessierenden Fragen stellen.

Ich bin einverstanden, in dieser Studie als Probandin/ Proband teilzunehmen, kann aber jederzeit ohne Angabe von Gründen diese Einwilligung entziehen.

Ich bin ferner einverstanden, dass meine im Rahmen dieser Arbeit erstellten personenbezogenen Daten nach vollständiger Anonymisierung durch die an dieser Arbeit beteiligten wissenschaftlichen Mitarbeiter der Klinik für Neurologie analysiert, elektronisch gespeichert und in wissenschaftlichen Veröffentlichungen benutzt werden.

Lübeck, den _____

Unterschrift der Studienteilnehmerin/ des Studienteilnehmers

Universitätsklinikum Schleswig-Holstein
Anstalt des öffentlichen Rechts

Bankverbindung:
Dresdener Bank Lübeck Nr.: 3 000 412 00 (BLZ 230 800 40)
Postbank Hamburg Nr.: 38 56 51 – 207 (BLZ 200 100 20)

8 Danksagung

Mein Dank gilt Prof. Dr. Thomas F. Münte für das vertrauensvolle Bereitstellen der Materialien und Räumlichkeiten in seiner Klinik für Neurologie des UKSH am Campus Lübeck.

Ein großer Dank geht außerdem an Prof. Dr. Rolf Verleger für das Überlassen des Themas. Sein immer konstruktiver Rat und seine sorgfältigen Korrekturen waren essenziell für die Komplettierung dieser Arbeit. Seine Motivation und großes Interesse an dem Thema waren eine Inspiration auch für spätere Projekte.

Als nächstes möchte ich Kamila Śmigasiewicz danken. Ohne die vielen investierten Stunden um mir die Methodik dieses umfassenden Themas näher zu bringen, wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Bedanken möchte ich mich auch bei Ferry, Jonas, Martin, Maxi und Tjorben. Selbst nach Jahren kann man sich immer auf euch verlassen.

Zuletzt danke ich meinen Eltern und meiner Freundin Lucia. Eure ständige Unterstützung, eure Motivation trieben mich an und halfen mir auch schwierige Phasen durch zu stehen.

9 Lebenslauf

Johannes Landmesser

geboren am 26.03.1990 in Burgwedel



Schulbildung und Studium

Seit 10.2017	Assistenzarzt in der Klinik für Urologie, UKSH Campus Lübeck
06.2017	3. Abschnitt der ärztlichen Prüfung und Abschluss des Medizinstudiums
05.2016 – 03.2017	Praktisches Jahr in Zweisimmen (Schweiz), Lübeck und Neustadt (Ostholstein)
04.2016	2. Abschnitt der ärztlichen Prüfung
06.2014	Beginn der experimentellen Phase der Dissertation
09.2012	1. Abschnitt der ärztlichen Prüfung
10.2010	Beginn des Studiums der Humanmedizin an der Universität zu Lübeck
07.2009 – 03.2010	Zivildienst im Krankentransport und Rettungsdienst beim Deutschen Roten Kreuz in Celle
05.2009	Abitur am Hermann Billung Gymnasium in Celle