

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

Hemisphäreninteraktion bei schnellen visuellen Aufgaben

Inauguraldissertation

zur Erlangung der Doktorwürde

der Universität zu Lübeck

-Aus der Sektion Medizin-

vorgelegt von

Julius Weinrich

aus Bonn

Lübeck 2014

1. Berichterstatter/Berichterstatterin: Herr Professor Dr. R. Verleger

2. Berichterstatter/Berichterstatterin: Priv.-Doz. Dr. med. Matthias Lüke

Tag der mündlichen Prüfung: 18.06.2014

Zum Druck genehmigt. Lübeck, den 18.06.2014

- Promotionskommission der Sektion Medizin -

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Stand der Forschung	5
2.1 Die RSVP Aufgabe	5
2.2 Die elektrophysiologischen Parameter	7
2.3 Der rechtshemisphärische Vorteil.....	9
3. Hypothese und Fragestellung	12
4. Material und Methoden	18
4.1 Versuchsteilnehmer	18
4.2 Errechnung der Winkelgrade	19
4.3 Reize und Gerätschaften	19
4.4 Durchführung.....	23
4.5 Infrarot-Augenkontrolle.....	24
4.6 EEG-Aufzeichnung und Vorbereitung	24
4.7 Datenverarbeitung.....	27
4.8 Analyse der Verhaltensdaten	29
4.9 Analyse des EEGs.....	29
4.9.1 Allgemeine Analyse.....	29
4.9.2 Analyse der VEPs	30
4.9.3 Analyse der N2pc-Komponente.....	31
4.10 Statistische Analyse	32
5. Ergebnisse	33
5.1 Ergebnisse der Verhaltensdaten.....	33
5.1.1 Unterschiede der Erkennung des T1 bei einfachen und Buchstabendistraktoren.....	36
5.1.2 Unterschiede der Erkennung des T2 bei einfachen und Buchstabendistraktoren.....	37
5.2 Ergebnisse der EEG-Ableitungen.....	39
5.2.1 Visuelle evozierte Potentiale.....	39
5.2.2 T1-evozierte Potentiale	40
5.2.3 T2-evozierte Potentiale	44
6. Diskussion	52
7. Zusammenfassung	61
Literaturverzeichnis	63

Anhang.....	69
Abkürzungsverzeichnis	69
Ethikantrag	70
Einwilligungserklärung.....	71
Danksagungen.....	72
Lebenslauf	73
Publikationsliste.....	74

1. Einleitung

Die Wahrnehmung unserer Umwelt ist eine äußerst komplexe Leistung des Gehirns, das verschiedene Sinneseindrücke zusammenführt und interpretiert. Besonders das visuelle System der Wahrnehmung hat einen großen Anteil an dieser Leistung. Über dieses System wird ein integriertes virtuelles Abbild der Außenwelt aufgebaut (Lehar, 2003). Dieses Abbild wird durch eine Integration der Informationen, die linke und rechte Hemisphäre erreichen, geschaffen. Entsprechend dem anatomischen Verlauf der Sehbahnen des visuellen Systems gelangen Stimuli aus dem rechten visuellen Halbfeld in die linke Hemisphäre und Stimuli aus dem linken visuellen Halbfeld in die rechte Hemisphäre (siehe Abbildung 1). Für jedes Auge gibt es ein temporales und ein nasales Halbfeld, wobei das temporale Halbfeld auf den nasalen (retinal temporalen) Teil der Retina und das nasale Halbfeld auf die temporale Seite trifft. Die Sehnerven der nasalen Halbfelder verlaufen über ungekreuzte Bahnen und senden ihre Informationen an die jeweils ipsilaterale Hemisphäre. Die Informationen der temporalen Halbfelder gelangen hingegen über gekreuzte Bahnen an die kontralateralen Hemisphären. Die Nervenfasern kreuzen daher insgesamt so, dass die Fasern des linken Halbfelds zur rechten Hemisphäre und die des rechten Halbfelds zur linken Hemisphäre verlaufen. Alle Stimuli aus einem visuellen Gesichtsfeld werden so durch die jeweils auf der anderen Seite liegende Hemisphäre verarbeitet. Dies ist die Voraussetzung dafür, dass die Identifikation von Reizen in einem visuellen Halbfeld der jeweiligen kontralateralen Hemisphäre zugeordnet werden kann.

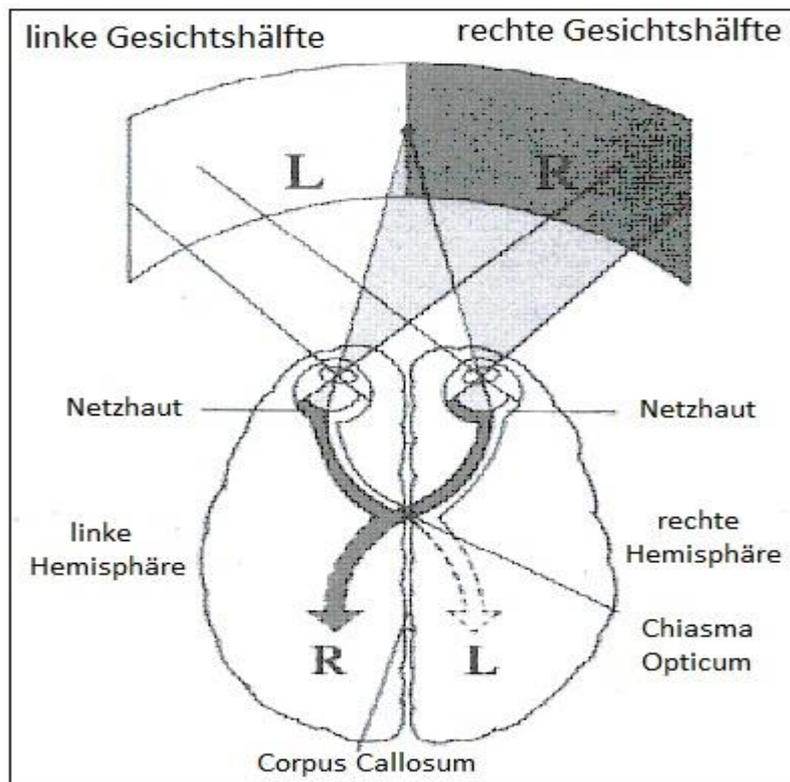


Abbildung 1: Darstellung der Sehbahnen aus Springer und Deutsch (1995). Die Bildinformationen des linken Halbfelds werden in die rechte Hemisphäre projiziert und umgekehrt.

Eine Reihe von Studien (Holländer et al., 2005a; Holländer et al., 2005b; Scalf et al., 2007; Verleger et al., 2009; Verleger et al., 2010; Śmigasiwicz et al., 2010; Verleger et al., 2011) hat gezeigt, dass visuelle Reize besser erkannt werden, wenn sie im linken Halbfeld dargeboten und somit von der rechten Hemisphäre verarbeitet werden, als wenn sie im rechten Halbfeld erscheinen. Es erscheint, dass es einen Vorteil bei der Wahrnehmung von visuellen Reizen im linken Halbfeld gibt. Eine Interpretation für dieses Phänomen könnte eine unterschiedlich gut ausgeprägte Fähigkeit der Hemisphären, visuelle Reize wahrzunehmen und zu verarbeiten, sein.

In den obengenannten Studien wurde die sogenannte „2-Kanal-RSVP“ (RSVP = engl. Rapid Serial Visual Presentation = schnelle aufeinanderfolgende visuelle Darbietung) verwendet. Hierbei werden im linken und rechten Halbfeld in zwei simultan laufenden Reizströmen Stimuli in schneller Abfolge (ungefähr 8/s) dargeboten. Ein Reizstrom besteht immer aus den beiden Zielreizen T1 und T2 (T für engl. target = Ziel) und den sie umgebenden sogenannten Distraktoren. Aufgabe der Versuchsteilnehmer war es, die zwei Zielreize, T1 und T2, in den Reizströmen zu erkennen. Der Aufbau ermöglicht es, die

Hemisphärenleistung getrennt zu beobachten. Der erste Zielreiz (T1) wird gewöhnlich gut erkannt und die Erkennungsrate ist über die Halbfelder ausgeglichen. Der zweite Zielreiz (T2) wird hingegen weniger gut erkannt, besonders die Erkennungsrate im rechten Halbfeld ist schlechter.

Śmigasiewicz et al. (2010) haben das Phänomen in Hinblick auf die kulturell erlernten Gewohnheiten Leserichtung und Schriftzeichen untersucht. Hierbei wurden Versuchsteilnehmer unterschiedlicher Nationen untersucht, die in verschiedene Richtungen und mit verschiedenen Zeichen lesen gelernt haben. Es handelte sich um israelische, taiwanesisch und deutsche Versuchsteilnehmer, die die Aufgabe mit lateinischen Buchstaben durchführten. Die Taiwaner führten die Aufgabe zusätzlich mit chinesischen und die Israelis mit hebräischen Schriftzeichen durch. Der Vorteil des linken Halbfeldes bei der Erkennung des T2 war bei den lateinischen Buchstaben bei allen Versuchsteilnehmern gegeben. In den Versuchen mit chinesischen und hebräischen Schriftzeichen wurde der Vorteil ebenfalls sichtbar, wenn auch weniger stark ausgeprägt. Es scheint also eine Beeinflussung durch die verschiedenen Schriftzeichen bei der Erkennung der Zielreize zu geben. Es wird trotzdem ein allgemeiner Vorteil bei der T2-Erkennung im linken Hemifeld über alle Teilnehmer sichtbar. Dies lässt darauf schließen, dass dieses Phänomen nicht kulturell bedingt ist, sondern vielmehr eine grundsätzliche funktionelle Organisation des Gehirns widerspiegelt.

Es gibt verschiedene Hypothesen, die versuchen, dieses Phänomen zu erklären. Eine Hypothese ist, dass sich die rechte gegenüber der linken Hemisphäre bei der RVSP-Aufgabe dominant verhält und diese inhibiert (Kinsbourne, 1987).

Das Ziel meiner Arbeit war es zu überprüfen, ob die Hemisphären bei der RSVP-Aufgabe die Zielreize isoliert voneinander verarbeiten oder eine Interaktion der Hemisphären stattfindet. Um diese Frage zu beantworten, hatten wir die 2-Kanal-RSVP-Aufgabe modifiziert. In vorausgegangen Studien (Verleger et al. 2009; Verleger et al., 2011) waren die Zielreize in Distraktoren eingebettet, die aus Buchstaben des Alphabets bestanden. Die in einem der beiden Reizströme vorkommenden Distraktoren wurden in unseren Experimenten so verändert, dass sie zu einer besseren Erkennung des Zielreizes führen sollten. Für den Fall, dass die Hemisphären die visuellen Reize isoliert voneinander verarbeiten, sollte dies lediglich zu einer Verbesserung der kontralateralen Hemisphärenleistung führen. Im Falle einer Interaktion der Hemisphären sollten die

eingesetzten Distraktoren zu einer Verbesserung der Erkennungsrate, nicht nur kontralateral sondern auch ipsilateral, führen.

Um die neuralen Mechanismen, die diesem Phänomen zu Grunde liegen, zu untersuchen, leiteten wir Elektroenzephalogramme ab, in denen wir die ereigniskorrelierten Potentiale (im Weiteren ERP = engl. Event Related Potentials) analysierten.

Klinische Relevanz besitzt die Erforschung dieses Linksfeldvorteils vor allem in Bezug auf das neurologische Syndrom des Hemineglects. Den Hemineglect kennzeichnet ein Verlust der Fähigkeit, Stimuli (visuelle, auditorische, taktile, olfaktorische), die auf der kontralateralen Seite einer Hemisphärenläsion (meist rechts) dargeboten werden, wahrzunehmen (Kerkhoff, 2001), obwohl der Patient keine nachweisliche Schädigung seiner Sinnesorgane erfahren hat. Der Hemineglect ist im Unterschied zur Hemianopsie, die durch einen Apoplex cerebri im hinteren Bereich der Sehbahn oder des primären visuellen Kortex des Okzipitallappens (Celesia et al. 1997) entsteht, keine Störung der elementaren sensorischen Fähigkeiten. Vielmehr charakterisiert den visuellen Hemineglect ein Mangel an Bewusstsein für die sensorischen Wahrnehmungen, in Kombination mit einem fehlenden visuellen Explorationsverhalten (Driver und Vuilleumier, 2001). Klinisch sind die beiden Erkrankungen nicht immer klar voneinander abzugrenzen, da beide sich im täglichen Leben als Unfähigkeit darstellen können auf Stimuli, die kontraläsional dargeboten sind, zu reagieren oder sie wahrzunehmen. Es gibt verschiedene Untersuchungen und Anamnestische Informationen, die Aufschluss darüber geben können um welche Erkrankungen es sich handelt. Beispielhaft stelle ich hier die Läsionslokalisation vor.

Die genaue Lokalisation der Hemisphärenschädigung, die zu einem Hemineglect führen kann, ist nicht immer ganz klar abzugrenzen. Die häufigste Lokalisation der Schädigung bei Hemineglect findet sich jedoch in den rechten inferioren Parietallappen (Gyri angularis und supramarginalis, die den Brodmann Arealen 39 und 40 entsprechen) (Driver und Vuilleumier, 2001). In vielen Fällen findet sich auch eine zusätzliche Schädigung anderer Strukturen, wie etwa der Gratiolet-Sehstrahlung oder der Insula. Jedoch wurde nie ein Hemineglect beschrieben, der einer isolierten okzipitalen Läsion folgte.

Die Hemianopsie hingegen tritt, wie bereits beschrieben, durch eine Schädigung im Verlauf der Sehbahn auf. Der Ort der Läsion entscheidet welche Ausprägung die Hemianopsie hat.

So kann zum Beispiel eine Läsion des Fasciculus opticus, des Chiasma opticums, des Tractus opticus, der gesamten Gratiolet-Sehstrahlung oder eine rindennahe, unter- oder oberhalb des Sulcus calcarinus liegende Läsion zu verschiedenen Hemianopsie Formen führen.

Die Aufklärung neurophysiologischer Mechanismen bei der Wahrnehmung visueller Stimuli, besonders die Interaktion der Hemisphären, liefert wichtige Erkenntnisse für das Verständnis und weitergehend auch für die Behandlung dieses Syndroms.

In den folgenden Abschnitten stelle ich die neurowissenschaftlichen Grundlagen, die zum Verständnis meiner Experimente wichtig sind, vor. Des Weiteren werden die in den Experimenten verwendeten Methoden eingeführt. Am Ende der Einleitung fasse ich meine Hypothese und die darauf basierende Fragestellung zusammen.

2. Stand der Forschung

2.1 Die RSVP Aufgabe

Dafür, dass die rechte Hemisphäre für die räumliche Wahrnehmung eine große Rolle spielt, gab es in mehreren Studien empirische Belege. Bei den Versuchsteilnehmern dieser Studien handelte es sich sowohl um neurologisch gesunde Versuchsteilnehmer (Corbetta et al. 1993; Evert und Oscar-Berman, 2001; Proverbio et al, 1994) als auch um Patienten mit einer einseitigen Hemisphärenläsion (Behrmann und Tipper, 1999; Heilman, 1995; Reuter-Lorenz et al, 1990).

Untersuchungen, die sich mit dem zeitlichen Aspekt der Aufmerksamkeit beschäftigten, wurden größtenteils mit RSVP-Aufgaben im Rahmen der Erforschung des sogenannten „attentional blink“ (engl. = „Aufmerksamkeitsblinzeln“) durchgeführt (Raymond et al. 1992; Shapiro et al. 1994). Bei der 1-Kanal-RSVP-Aufgabe wird den Versuchsteilnehmern ein Reizstrom präsentiert, in dem sie zwei zeitlich aufeinander folgende Reize, T1 und T2, erkennen sollen. Die zeitlichen Abstände bei der Darbietung dieser Zielreize haben in diesem Experiment einen Einfluss auf die Zielreizerkennung. Bei Darbietung des T2 direkt nach dem T1 wird der T2 besonders gut erkannt („lag 1 – sparing“), wohingegen eine

Verzögerung von 200 – 300 ms nach T1 zu einer deutlich schlechteren T2 -Erkennung führt. Das lag 1 – sparing wird wahrscheinlich einerseits durch die erhöhte Aufmerksamkeitsbereitschaft nach der Erkennung des T1 erklärt (Olivers, 2007), andererseits führt der T1 zu einer Aufmerksamkeitsverschiebung, die wiederum die T2-Erkennung verbessert (Di Lollo et al. 2005; Nieuwenstein und Potter 2006). Die verminderte Fähigkeit, den T2 bei diesen Bedingungen zu erkennen, wird als „attentional blink“ beschrieben (Raymond et al. 1992). Die Verschlechterung bei der Erkennung des T2, im Zeitraum des „attentional blink“, wird als ein Mechanismus des Aufmerksamkeitssystems verstanden, der kurz nach Darbietung des T1 abläuft (Raymond et al. 1992). In diesem Modell wird angenommen, dass eine gewisse Zeit benötigt wird, einen ersten Zielreiz zu verarbeiten. Folgt ein weiterer relevanter Zielreiz innerhalb dieser Verarbeitungszeit, so setzt ein Schutzmechanismus, der vor Überlastung und Verwirrung schützen soll, ein. Die Wahrnehmung verschließt sich also, in Folge der Verarbeitung des ersten Zielreizes, für einen Moment der Aufnahme weiterer Informationen (T2-Erkennung).

Die linke Hemisphäre wird als spezialisiert für das zeitliche Auflösungsvermögen von Reizen vermutet (Nicholls, 1996). Um dies im Rahmen des „attentional blink“ Paradigmas zu überprüfen, modifizierten Holländer et al. (2005a) die Standard-RSVP-Aufgabe, so dass aus ihr eine 2-Kanal-RSVP-Aufgabe wurde. Die Besonderheit ihrer Experimente bestand darin, dass sie - durch ihren Versuchsaufbau bedingt - die Zielreizerkennung in den beiden visuellen Halbfeldern getrennt untersuchen konnten.

Ihre Ergebnisse zeigten, dass ein erheblicher, seitenabhängiger Unterschied bei der Erkennung des T2 bestand. Bei der Darbietung des T2 im linken Halbfeld war die Erkennung ungefähr 20 % besser als im rechten (ca. 90 % zu ca. 70 %).

Diese Ergebnisse konnten von Holländer et al. selbst (Holländer et al. 2005b), sowie von verschiedenen anderen Forschergruppen (Scalf et al. 2007; Verleger et al. 2009; Verleger et al. 2010) repliziert werden.

Scalf et al. (2007) replizierten die Ergebnisse nicht nur, sondern sie modifizierten die Aufgabe und kamen so zu neuen Erkenntnissen. In ihrer Version der RSVP-Aufgabe zeigten sie rechts und links jeweils 2 Reizströme. In ihren ersten Experimenten erschien in einem Reizstrom T1 und in dem anderen T2. Bei der Verwendung der Distraktoren @, &

% und # war die Erkennungsrate durchweg hoch, ohne dass sich Asymmetrien abbildeten. Bei der Verwendung von Zahlen als Distraktoren wurde die Erkennungsrate ein wenig schlechter und es zeichnete sich eine Asymmetrie ab, bei der T1 und T2 um 8% besser im linken Halbfeld erkannt wurden.

In diesen Experimenten wurde der T2 jedoch nie an derselben Stelle gezeigt wie der vorausgegangene T1. Somit ergab sich eine potentielle Ungleichheit der Verteilung des T2. In ihrem sechsten Experiment führten Scalf et al. die Möglichkeit ein, dass der T2 an allen Stellen in allen Bedingungen gleichmäßig oft erscheinen konnte. Durch die Einführung dieser Möglichkeit erzielten Scalf et al. einen Unterschied in der Erkennungsrate des T2 in den Halbfeldern von 35 %. Die Erkennung des T1 änderte sich nicht wesentlich, wohingegen im linken Halbfeld 76 % und im rechten lediglich 41 % Prozent der dargebotenen T2 erkannt wurden.

Scalf et al. vermuteten, dass die Informationen, die der linken Hemisphäre zugeführt wurden, schlechter verarbeitet wurden, wenn der T1 schwer von den ihm folgenden Distraktoren abzugrenzen war. Da bei ihrer Arbeit ein anderes Thema im Fokus stand, wurden diese Ergebnisse jedoch nicht weiter behandelt.

Auch wenn die Frage der rechtshemisphärischen Dominanz bei der RSVP nicht endgültig beantwortet wird, zeigen die Studien, dass die 2-Kanal-RSVP-Aufgabe eine Möglichkeit bietet, die Hemisphären getrennt auf ihre Fähigkeiten bei der Verarbeitung schnell dargebotener visueller Reize zu untersuchen.

2.2 Die elektrophysiologischen Parameter

Das ereigniskorrelierte Potential

Um die neuronalen Prozesse der Hemisphären bei der 2-Kanal-RSVP-Aufgabe zu untersuchen eignen sich besonders EEG-Ableitungen, da sie die Möglichkeit bieten, die Vorgänge mit hoher zeitlicher Auflösung darstellen zu können. Hierbei werden

ereigniskorrelierte Potentiale gemessen. Diese spiegeln Spannungsänderungen im EEG wider, die zeitlich definierten Ereignissen zugeordnet werden können. Diese sind von Sinneswahrnehmungen evoziert oder stehen mit Handlungen im Zusammenhang (Luck, 2005). Die Abschnitte des EEGs, aus dem die ERPs herausgefiltert werden, sind am Zeitpunkt des zu untersuchenden Ereignisses ausgerichtet. Die Ausschläge in der ERP Kurve werden in Hinblick auf ihre Polarität, ihrer Aufeinanderfolge oder ihre Latenz beschrieben.

Einschränkend muss man anmerken, dass die ERPs nur Teile der gesamten neuronalen Aktivität widerspiegeln und somit viele Vorgänge im Gehirn nicht erfasst werden (Luck, 2005). Es werden in der Regel lediglich die postsynaptischen Potentiale aufgezeichnet. Aktionspotentiale lassen sich nur sehr schwer darstellen, da die Neurone asynchron feuern, was bei den Messungen ihrer Potentiale meist zu Auslöschungen führt.

Von besonderem Interesse bei der Untersuchung der visuellen Wahrnehmung im 2-Kanal-RSVP sind die durch T1 und T2-evozierten EEG-Komponenten N2pc sowie die durch die Distraktoren visuell evozierten Potentiale (VEPs).

Die N2pc-Komponente

Die N2pc-Komponente ist definiert als ein im EEG negativer Ausschlag mit einem Maximum nach 250 ms in der Hemisphäre kontralateral zum dargebotenen Stimulus (Luck und Hillyard, 1994; Wascher und Wauschkuhn 1996). Der EEG-Ausschlag wird in den Ableitungen von posterior angebrachten Elektroden PO7 und PO8 am deutlichsten sichtbar. Die N2pc-Komponente wird als Ausdruck der Selektion der lateral präsentierten Zielreize verstanden (Eimer, 1996; Hickey et al. 2009) und ist somit ein Korrelat selektiver Aufmerksamkeit. Sie wurde bereits in verschiedenen vorangegangenen RSVP-Experimenten beschrieben (Dell'Acqua et al., 2006; Zhang et al. 2009; Verleger et al. 2009; Akyürek et al. 2010; Verleger et al. 2011). Die N2pc-Komponente wurde normalerweise aus der Differenz kontralateraler und ipsilateraler Ausschläge im EEG berechnet, die sowohl über die linke als auch rechte Stimulus-Seite gemittelt wurde. Verleger et al. (2011) haben die N2pc-Komponente auf eine andere Weise gemessen als in den vorangegangenen Untersuchungen. Ihre Art der Messung konzentrierte sich mehr darauf,

die Unterschiede zwischen den Hemisphären hervorzuheben, indem sie die von den Stimuli hervorgerufene N2pc-Komponente in jeder Hemisphäre einzeln bestimmten. Für die von T1 evozierte N2pc-Komponente zeigte sich weder in der Latenz noch in der Höhe der Amplitude ein Unterschied zwischen rechter und linker Hemisphäre. Bei rechtshemisphärischer T2-Verarbeitung wurde die N2pc-Komponente früher sichtbar als auf der Gegenseite. Diese Ergebnisse ließen sich mit der besseren T2-Erkennung im linken Halbfeld vereinbaren.

Die N2pc-Komponente scheint somit als ein geeignetes elektrophysiologisches Korrelat des Linksfeldvorteils in der 2-Kanal-RSVP-Aufgabe.

VEPs

Verleger et al. (2011) hatten die durch Distraktoren visuell evozierten Potentiale an rechter (PO8) und linker Hemisphäre (PO7) gemessen, da sie vermuteten, dass sie ebenfalls ein Indikator für den Linksfeldvorteil bei der RSVP-Aufgabe darstellen könnten. Die Amplituden der VEPs traten an PO8 tatsächlich früher als an PO7 auf, was ein Hinweis auf eine schnellere Verarbeitung der visuellen Stimuli in der rechten Hemisphäre sein könnte.

Diese Asymmetrie der VEPs stellt somit eine weitere bedeutungsvolle EEG-Komponente bei der Untersuchung des rechtshemisphärischen Vorteils bei der RSVP Aufgabe dar.

2.3 Der rechtshemisphärische Vorteil

Der rechtshemisphärische Vorteil bei der 2-Kanal-RSVP-Aufgabe stellt möglicherweise einen Unterschied der Hemisphären in der Verarbeitung von schnell ablaufenden Prozessen dar. Eine mögliche Erklärung wäre, dass die rechte Hemisphäre eine grundsätzlich bessere Fähigkeit aufweist, räumliche Aufmerksamkeitswechsel zu vollführen (Corbetta et al., 1993; Nobre et al., 1997; Corbetta et al., 2000; Grosbras und Paus, 2002), jedoch gibt es hierfür ebenso gegenteilige Ergebnisse (s. Nicholls, 1996). Ebenso denkbar ist eine besser

ausgeprägte Fähigkeit der rechten Hemisphäre, Ereignisse in einer schnellen Zeitabfolge zu erkennen (Hellige und Webster, 1979; Hellige 1983). Hierzu ergänzend könnte die Unterlegenheit der linken Hemisphäre, welche vermutlich - als die für verbale Verarbeitung dominante Hemisphäre – für die Buchstabenverarbeitung verantwortlich ist, durch den hohen Anspruch der 2-Kanal-RSVP-Aufgabe an Wahrnehmung und Gedächtnis zustande kommen (Hellige et al., 1979), da hier viele Buchstaben als Distraktoren dargeboten werden und der T1 und T2 gemerkt werden muss.

Diese Hypothesen implizieren, dass die beiden Hemisphären, zumindest zu einem bestimmten Zeitpunkt, die Reize voneinander getrennt verarbeiten. Boles (1987; 1990) stellte die Hypothese auf, dass eine Darbietung von ähnlichen Stimuli in den bilateralen Halbfeldern zu einer Aktivierung homologer Gebiete in den beiden Hemisphären führt und den Transfer von Informationen zwischen ihnen inhibiert. Dies würde bedeuten, dass der jeweilige Stimulus in einem Halbfelde ausschließlich von der kontralateralen Hemisphäre verarbeitet würde.

Eine unabhängige Verarbeitung von Reizen wird auch von Zaidel (1989) vermutet. Sein Modell des direkten Zugangs geht davon aus, dass die asymmetrische Leistung der Hemisphären intrinsischen hemisphärischen Spezialisierungen zu Grunde liegt.

Der rechtshemisphärische Vorteil in der 2-Kanal-RSVP-Aufgabe könnte jedoch ebenfalls durch eine interhemisphärische Interaktion, sei es eine Kooperation oder ein gegenseitige Inhibition, bedingt sein. Verteilungsprozesse auf beide Hemisphären sind von Bedeutung bei komplexen Aufgaben und solchen, die viel Aufmerksamkeit erfordern (Banich und Belger, 1990; Hellige, 1990; 1993), da hier der Vorteil des interhemisphärischen Informationsaustausches den Aufwand der Koordination beider Hemisphären isoliert voneinander überwiegt. Banich und Belger (1990) zeigten in einer Buchstabenvergleichsaufgabe, dass für verschiedene Aufgabentypen unterschiedliche Verarbeitungen von Vorteil sind. Hierfür untersuchten sie, ob es einen Vorteil für die hemisphärengetrennte Verarbeitung bei Aufgaben mit unterschiedlich schwierigem Entscheidungsprozess gibt. Wenn es um die physische Identität als Kriterium ging, welches als einfache Aufgabe angesehen wurde, gab es einen Vorteil, wenn die Hemisphären getrennt voneinander arbeiten. Banich und Belger sicherten durch ihren Versuchsaufbau, dass die Aufgabe entweder von einer einzelnen Hemisphäre oder beiden bearbeitet wurde. Die Stimuli wurden in einer Dreiecksform angezeigt in deren Mitte sich eine Zahl befand,

die der Proband nennen musste, da sie als Fixationspunkt diente. Oberhalb des Fixationspunktes wurden jeweils links und rechts zwei Zielreize gezeigt, von denen einer dem dritten Zielreiz entsprach. Der dritte Zielreiz wurde unterhalb des Fixationspunktes versetzt gezeigt, so dass er entweder im linken oder rechten Halbfeld gezeigt wurde. Der Durchgang wurde als hemisphärengetrennt gewertet, wenn der obere und untere Zielreiz identisch waren und im selben Halbfeld gezeigt wurde. Wenn der untere Zielreiz im anderen Halbfeld als der obere präsentiert wurde galt dies als eine Interaktion. Bei der schwierigeren Aufgabe mussten die Versuchsteilnehmer aus den drei Zielreizen (Buchstaben) erkennen, ob zwei dieselben waren (z.B.: A a), wohingegen bei der einfachen Aufgabe lediglich unterschieden werden musste ob es sich um dieselbe Form handelte (z.B.: A, A). Bei der schwierigeren Aufgabe zeigte sich, dass ein Informationsaustausch der Hemisphären vorteilhaft war, wobei sich der Informationsaustausch darin zeigte, dass die Aufgabe so besser gelöst wurde.

Wenn man diese Erkenntnisse auf die 2-Kanal-RSVP-Aufgabe bezieht, könnte man den rechtshemisphärischen Vorteil so interpretieren, dass die linke, für Buchstaben spezialisierte, Hemisphäre nicht nur den rechts gezeigten T1 erkennt, sondern auch der rechten Hemisphäre hilft, einen linken T1 zu erkennen, und für die anschließende T2-Erkennung über zu wenige Aufmerksamkeitsressourcen verfügt.

Eine Alternativhypothese ist, dass durch die Verarbeitung verschiedener bilateral präsentierter Reize eine Interferenz entsteht, die wiederum die Hemisphären in eine Konkurrenzsituation bringt (Mohr, 2002). Dies könnte in Form einer Konkurrenz der von den Hemisphären erhaltenen Informationen bis hin zu einer gegenseitigen Inhibition geschehen.

Unterstützt wird die Idee von den konkurrierenden Hemisphären von der Hypothese der intrahemisphärischen Konkurrenz (Olk und Hartje, 2001; Moscovitch und Klein, 1980). Ausgehend von dieser Hypothese werden die Informationen der nicht dominanten Hemisphäre von dort aus direkt in die dominante weitergeleitet. Dort findet dann eine Konkurrenz um die gemeinsame Verarbeitung statt.

Die Inhibitionshypothese findet sich in dem Modell der interhemisphärischen Inhibition (Wey et al. 1993) sowie im Gegenseiten-Prozessor-Kontrollsystem (Kinsbourne, 1987) wieder. Beide gehen von einer gegenseitigen Inhibition der Hemisphären über das Corpus

callosum aus. Die Stärke der Inhibition ist proportional zu der Aktivität, die eine Hemisphäre bei der jeweiligen Aufgabe erbringt. Dementsprechend übt die dominante Hemisphäre eine stärkere Inhibition auf die nicht-dominante aus. Folglich wird die ohnehin schlechter arbeitende Hemisphäre zusätzlich inhibiert. Diese Hypothesen gehen davon aus, dass funktionelle Veränderungen zu einer Veränderung der Hemisphärenasymmetrien führen. Wey et al. (1993) haben in einer Leseaufgabe gezeigt, dass der linkshemisphärische Vorteil durch effektive Masken reduziert werden kann und die rechte Hemisphäre nicht mehr inhibiert wird.

Bezieht man dies auf die 2-Kanal-RSVP-Aufgabe, so könnte der rechtshemisphärische Vorteil aus der Inhibition der rechten Hemisphäre über die linke entstehen.

Eine genauere Hypothese über die Mechanismen, die dieser Konkurrenzsituation zu Grunde liegen, präsentierten Scalf et al. (2007). In ihrem Experiment nutzen sie eine – wie in 2.1 beschrieben - 4-Kanal-RVSP-Aufgabe und untersuchten, ob der „attentional blink“ durch eine Aufteilung der T1- und T2-Reize auf die beiden Hemisphären reduziert werden kann. Die T2-Erkennung konnte so tatsächlich verbessert werden, jedoch nur, wenn der T2 im linken Halbfeld präsentiert wurde. Bei Darbietung des T2 rechts nach einem linkem T1 gab es keinen Vorteil bei der Erkennung. Scalf et al. schlussfolgerten, dass gerade ablaufende Prozesse neue Informationen daran hinderten, die linke Hemisphäre zu erreichen. In einem ihrer Experimente war es Scalf et al. durch eine Veränderung der Distraktoren möglich, den Nachteil der linken Hemisphäre aufzuheben. Hierbei wurden anstatt Buchstaben als Distraktoren die Tastatursymbole (#, &, @, %) verwendet. Sie schlussfolgerten aus ihren Experimenten, dass der Nachteil der linken Hemisphäre dadurch entsteht, dass die Ressourcen der Aufmerksamkeit bereits verbraucht sind, da die Buchstabendistraktoren schwierig von dem Zielreiz zu unterscheiden sind.

3. Hypothese und Fragestellung

Ziel dieser Arbeit war es zu untersuchen, ob die Hemisphären bei der 2-Kanal-RSVP-Aufgabe unabhängig voneinander arbeiten oder eine Interaktion zwischen ihnen stattfindet und ob diese Interaktion asymmetrisch ist und somit einen Ansatz für die Erklärung des Linksfeldvorteils ergibt. Um diese Fragestellung zu beantworten, präsentierten wir in einem der beiden Kanäle in der 2-Kanal-RSVP-Aufgabe "einfache" Distraktoren. Inspiriert wurde die Wahl der Distraktoren von Scalf et al. (2007), wobei wir noch einfachere

Tastatursymbole benutzen (!, ?, *, +), um sicherzugehen, dass die Aufgabe leichter als mit normalen Distraktoren war. Aufgrund ihrer Unterschiedlichkeit zu den Zielreizen sollten die einfachen Distraktoren zu weniger Interferenzen zwischen den Stimuli führen. Dadurch, dass die Distraktoren leichter zu erkennen sein sollten, war auch mit einem geringeren Maskierungseffekt zu rechnen und die T1/T2 Zielreize würden so besser erkannt werden. Die verschiedenen Kombinationen der Kontrollbedingung, in der lediglich Buchstaben als Distraktoren dienten, sind in Abbildung 2 dargestellt.

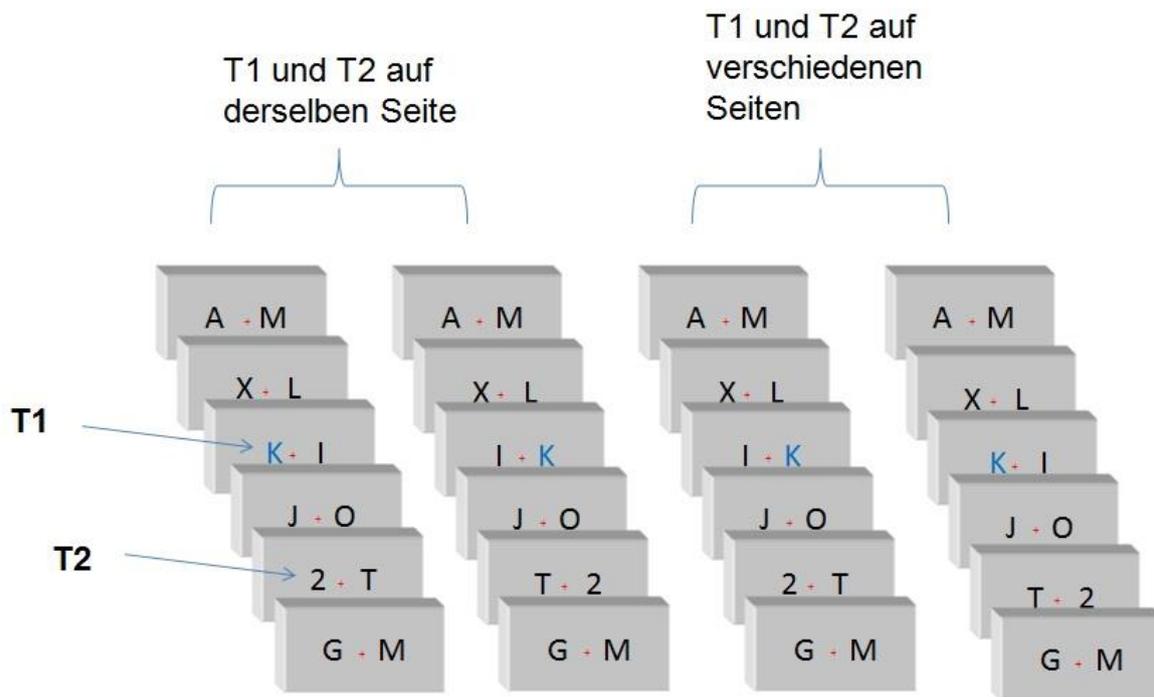


Abbildung 2: Die experimentellen Bedingungen der Reizdarbietung führen zu 4 verschiedenen Möglichkeiten (Zwei T1-Seiten x 2 T2-Seiten). In der linken Hälfte sind die zwei Bedingungen dargestellt, in denen T1 und T2 auf derselben Seite erscheinen. In der rechten Hälfte die, in denen T1 und T2 auf verschiedenen Seiten sind.

Die einfachen Distraktoren sollten dazu führen, dass der in sie eingebettete T1 besser als in der Kontrollbedingung erkannt wird, da er leichter von den Distraktoren zu unterscheiden ist. Diese Bedingung ist in Abbildung 3 der Kontrollbedingung gegenübergestellt.

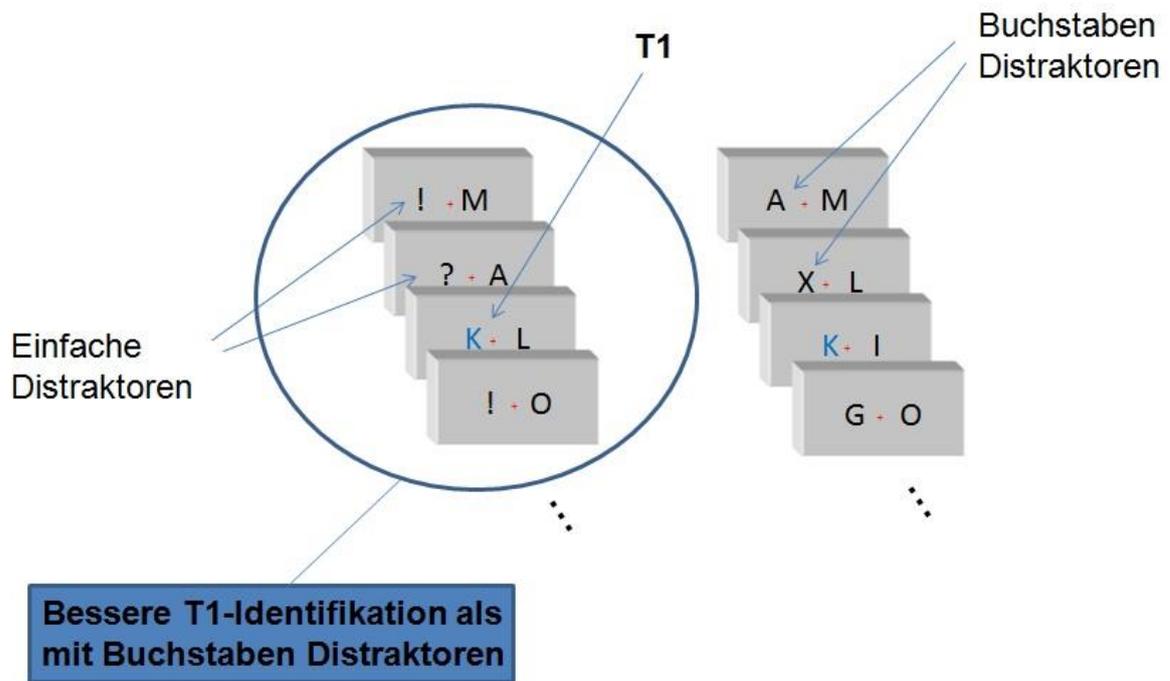


Abbildung 3: Unter diesen Bedingungen ist der T1 in einfachen Distraktoren eingebettet. In der ersten Spalte ist der T1 beispielhaft links. Die Hypothese gilt auch für die Bedingung in der er rechts ist. In der zweiten Spalte ist die Kontrollbedingung mit Buchstabendistraktoren gegenübergestellt.

Für den Effekt der einfachen Distraktoren auf die T2-Erkennung gibt es drei verschiedene Hypothesen.

Die erste Hypothese besagt, dass der T2, wenn er im selben Reizstrom wie die einfachen Distraktoren vorkommt, aufgrund der Unterschiedlichkeit zu den Distraktoren besser erkannt wird. Die T2-Erkennung sollte sich, bei einseitiger Darbietung der einfachen Distraktoren, verbessern. Diese Bedingung ist in der Abbildung 4 im Vergleich zu der Kontrollbedingung gezeigt.

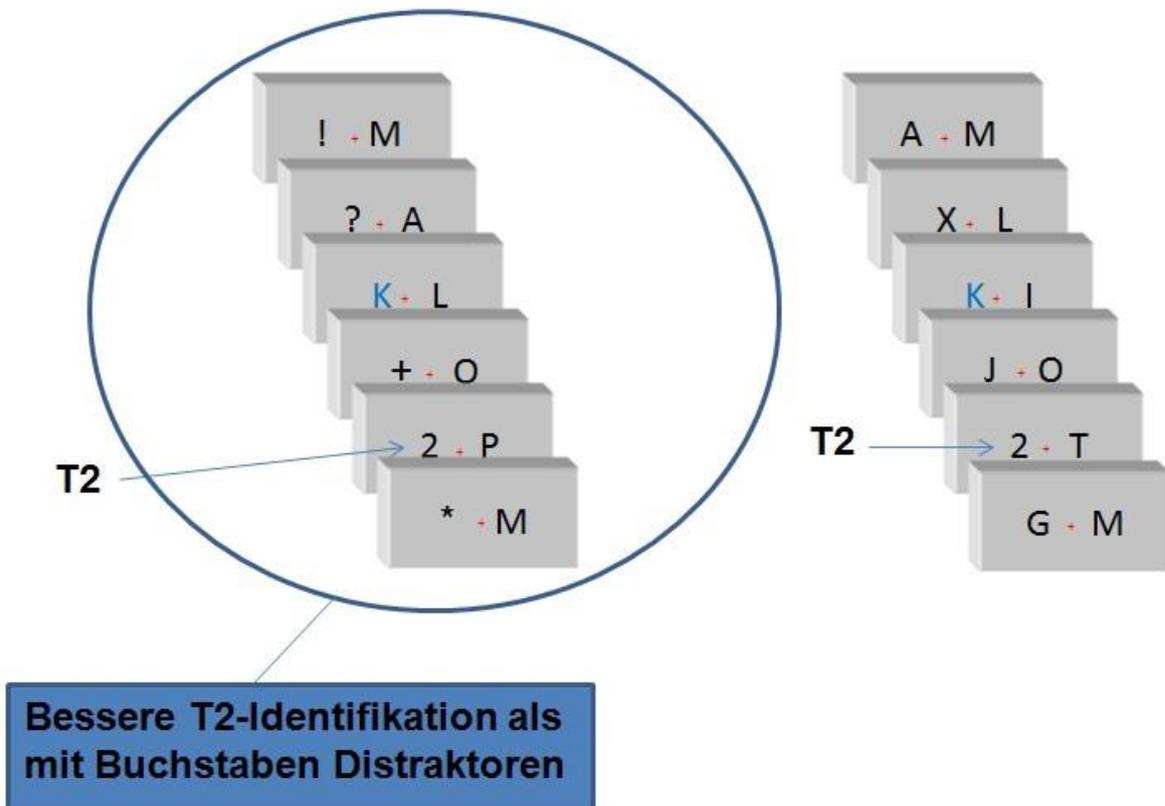
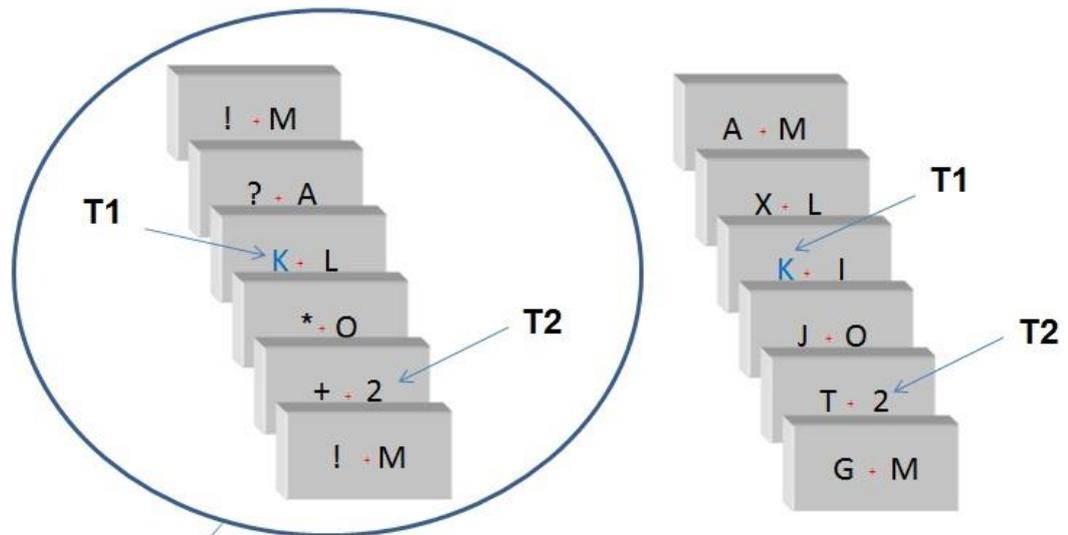


Abbildung 4: In der ersten Spalte sind sowohl der T1 als auch der T2 in einfachen Distraktoren links eingebettet. Die Hypothese gilt auch für die Bedingung in der er rechts ist. In der zweiten Spalte ist die Kontrollbedingung mit Buchstabendistraktoren gegenübergestellt.

Die nächste Hypothese besagt, dass es zu einer besseren T2-Erkennung kommt wenn der T1 auf der Gegenseite in einfachen Distraktoren eingebettet ist. Diese Hypothese geht von einer Interaktion der Hemisphären aus. Die Interaktion spiegelt sich darin wider, dass die Hemisphäre, die T1 und die einfachen Distraktoren verarbeitet, weniger beansprucht wird und die andere Hemisphäre bei der T2-Erkennung unterstützt. Diese Bedingung ist in Abbildung 5 beispielhaft dargestellt.

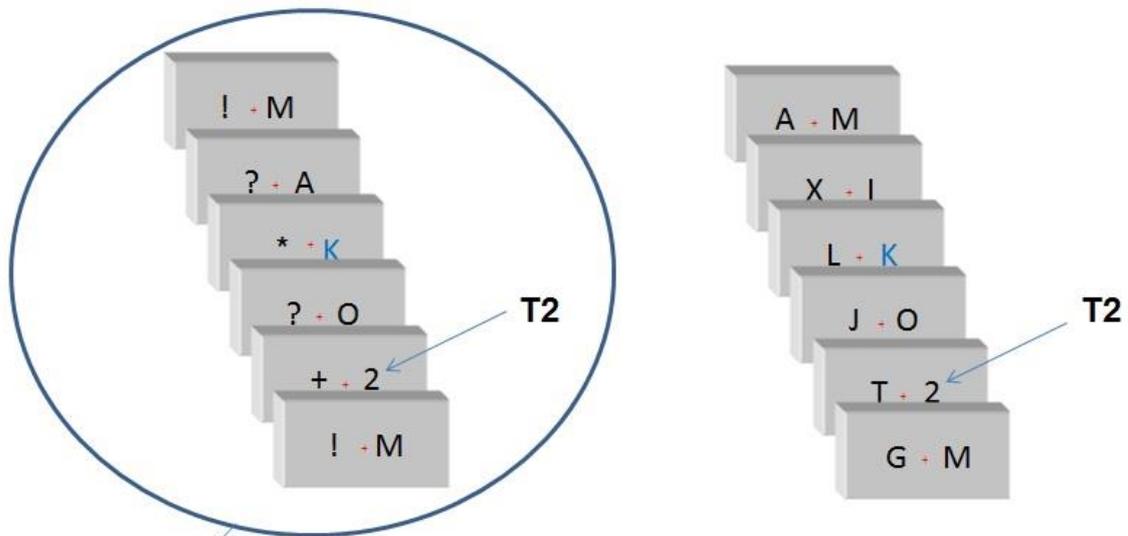


Ein in einfache Distraktoren eingebetteter T1 führt zu einer besseren T2-Erkennung auf der jeweiligen Gegenseite.

Abbildung 5: In der linken Spalte ist der T1 in einfachen Distraktoren links eingebettet und der T2 auf der Gegenseite in Buchstaben Distraktoren eingebettet. Diese Hypothese gilt auch für den Fall, dass T1 und die einfachen Distraktoren rechts gezeigt werden und der T2 links. In der rechten Spalte ist die Kontrollbedingung hierfür dargestellt.

Die dritte Hypothese geht davon aus, dass die rechte Hemisphäre die linke Hemisphäre inhibiert. Dies wäre dann der Grund für die normalerweise vorkommende Asymmetrie bei der Zielreizerkennung in der RSVP-Aufgabe. Die einfachen Distraktoren, präsentiert im linken Halbfeld, sollten in diesem Fall dazu führen, dass die rechte Hemisphäre entlastet wird und keine oder eine geringere Inhibition auf die linke ausübt. Der T2 wird folglich besser im rechten Halbfeld erkannt, da die linke Hemisphäre keine Inhibition erfährt. Die Bedingung für diese Hypothese ist in der Abbildung 6 illustriert.

Einfache Distraktoren auf der linken Seite, T2 auf der rechten Seite



Die einfachen Distraktoren werden von der rechten Hemisphäre verarbeitet. Durch die erleichterte Verarbeitung inhibiert diese die linke Hemisphäre weniger und es kommt zu einer besseren T2-Erkennung.

Abbildung 6: Die einfachen Distraktoren sind auf der linken Seite gezeigt. T1 und T2 sind in Buchstabendistraktoren rechts eingebettet. Die Hypothese gilt auch für die Bedingung, dass die einfachen Distraktoren rechts gezeigt werden und T2 links. Ebenso gilt sie wenn der T1 in den einfachen Distraktoren eingebettet ist. In der zweiten Spalte ist die Kontrollbedingung gezeigt.

Die neuronalen Mechanismen des rechtshemisphärischen Vorteils sollten mit Hilfe der Analyse von bereits bekannten EEG-Indikatoren als Korrelat hemisphärischer Aktivierung der Verhaltenseffekte untersucht werden.

Verleger et al. (2011) untersuchten die visuell evozierte Potentiale in der rechten (PO8) und linken (PO7) Hemisphäre, welche durch die Darbietung der Distraktoren im kontralateralen Halbfeld entstehen. In der PO8-Komponente (rechts) zeigten sich früher Ausschläge im EEG als in der PO7-Komponente (links), was als bessere Verarbeitung der rechten Hemisphäre von schnell wechselnden Stimuli interpretiert werden kann. Wenn die einfachen Distraktoren einen Effekt auf den rechtshemisphärischen Vorteil und die asymmetrischen Ergebnisse der VEPs hätten, so würde sich dies in der Untersuchung der VEPs widerspiegeln. Wir erwarteten eine schnellere Verarbeitung der VEPs in der rechten

Hemisphäre, da diese wahrscheinlich dafür spezialisiert ist (Verleger et al. 2011). Die N2pc-Komponente ist eine weitere Komponenten die bei Verleger et al. (2011) von Relevanz war. Bei Darbietung eines linksseitigen T2 schlug die N2pc-Komponente früher aus. Verleger et al. interpretierten diese Ergebnisse als Fähigkeit der rechten Hemisphäre, Zielreize bei schwierigen Aufmerksamkeitsaufgaben, unter Verwendung weniger Ressourcen, besser zu erkennen. Diese Asymmetrie zeigte sich bei der T1 Erkennung jedoch nicht, da hier die Ressourcen wahrscheinlich noch komplett vorhanden waren.

Der Effekt der einfachen Distraktoren bei der 2-Kanal-RSVP-Aufgabe sollte eine Veränderung der T2-evozierten N2pc-Komponente bewirken. Sollte der rechtshemisphärische Vorteil dadurch entstehen, dass die Informationen aus dem linken visuellen Halbfeld besser um eine gemeinsame Verarbeitung konkurrieren als die Informationen des rechten visuellen Halbfelds, so sollte dieser Mechanismus durch die einfachen Distraktoren beeinflusst werden.

4. Material und Methoden

Die Methoden werden für Experiment 1 und 2 zusammen beschrieben.

4.1 Versuchsteilnehmer

18 Studenten (9 männliche/9 weibliche) im Alter von 19 bis 33 Jahren (Durchschnittsalter = 25,5 Jahre, Standardabweichung = 4,5) nahmen am ersten Experiment (E1) teil. An dem zweiten Experiment (E2) nahmen 20 Studenten (12 männlich/8 weibliche) im Alter von 20 – 33 Jahren (Durchschnitt = 23,8 Jahre, Standardabweichung = 2,8) teil. Die Versuchsteilnehmer unterschrieben eine Einverständniserklärung und wurden mit 7 Euro pro Stunde entlohnt. Alle Probanden waren normalsichtig oder trugen eine Brille (7 Personen in E1, 8 in E2), die einen normalen Visus gewährleistete. Des Weiteren gaben die Versuchspersonen an, dass weder Farbsehstörungen noch neurologische Vorerkrankungen bekannt seien. Es handelte sich ausschließlich um Rechtshänder, die im Edinburgh Händigkeit-Inventar (R.C Oldfield, 1971) Werte von $92 \pm 12,8$ (Wertebereich 60-100) in E1 und $85 \pm 17,3$ (Wertebereich 50-100) in E2 erzielten. Drei Teilnehmer wurden aus den

Auswertungen von E1 und drei aus denen von E2 ausgeschlossen, da sie während der Aufgabe Sakkaden zur T1-Seite ausführten und somit die Aufgabe nicht den Hemisphären zugeordnet werden konnte. Aufgrund mangelnder Erkennung des T1- und T2-Zielreizes wurden zwei weitere Teilnehmer aus E2 ausgeschlossen (< 2 Standardabweichungen der durchschnittlichen T1 T2- Erkennung der anderen Teilnehmer). Dementsprechend blieben 15 Teilnehmer für die Auswertung von E1 (7 männliche/8 weibliche) und 15 für E2 (9 männliche/6 weibliche) relevant.

4.2 Errechnung der Winkelgrade

In der Versuchsanordnung sind für den Monitor Größen in Winkelgraden ($^{\circ}$) angegeben. Dies kommt dadurch zustande, dass man sich den Versuchsteilnehmer in der Mitte eines transversal ausgerichteten Kreises von 360° vorstellt. Der Monitor befindet sich auf dem Umfang dieses Kreises. Für den Radius ergibt sich ein Wert von 120 cm (der Abstand des Teilnehmers zum Monitor). Die Winkelgrade errechnen sich aus der Formel für den Kreisumfang. Der Kreisumfang U entspricht 2-mal π mal r ($U=2\pi r$). Bei einem Vollkreis von 360° entspricht 1° dem Kreisumfang geteilt durch 360. In meinem Experiment errechnet sich für den Umfang näherungsweise ein Wert von 7,54 m. Diese 7,54 m geteilt durch 360 ergeben gerundet 0,02 m. Zwei Zentimeter auf dem Bildschirm entsprechen somit einem Winkelgrad. Dies gilt sowohl für die auf der X-, als auch für die auf der Y-Achse skalierten Werte, da man den gedachten Kreis ebenfalls von dem Versuchsteilnehmer aus an einer sagittalen Achse sehen kann und somit das Rechenverfahren erneut anwenden kann. Die Werte und damit der Umrechnungsfaktor bleiben dabei gleich.

4.3 Reize und Gerätschaften

Das Gesicht der Versuchsperson befand sich ungefähr 1,2 m von dem 17“ großem Computerbildschirm entfernt, der eine Bildwiederholfrequenz von 100 Hz besaß. Bei weißem Hintergrund hatte der Bildschirm eine Helligkeit von 120 cd/m^2 . Die Helligkeit war durch ein LXcan Leuchtdichtemessgerät bestimmt worden. Vor der Versuchsperson

befand sich, in gut erreichbarem Abstand, eine Computertastatur auf einem ausziehbaren Tablett, in die die Person den erkannten Stimulus eingeben musste.

Rechts und links vom Fixierpunkt, den ein rotes Fadenkreuz ($0.1^\circ \times 0.1^\circ$ Winkelgrad und 24 cd/m^2) in der Bildschirmmitte darstellte, wurden in schneller Zeitabfolge Großbuchstaben des lateinischen Alphabets, Symbolzeichen und Zahlen dargeboten.

Diese schwarzen Zeichen hatten eine Breite von 9 mm und eine Höhe von 11 mm ($0.6^\circ \times 0.45^\circ$ Winkelgrad und 1 cd/m^2). Der Abstand, gemessen von der dem Fixierungspunkt zugewandten Seite der Buchstaben, betrug jeweils 16 mm (0.8° Winkelgrad). Jedes Buchstabenpaar wurde 130 ms lang gezeigt, das nächste Buchstabenpaar folgte direkt anschließend. Ein Durchgang bestand aus 13-19 solcher Buchstabenpaare.

In jedem Durchgang bestand die Aufgabe darin, zwei Zielreize zu erkennen. Der erste Zielreiz (im weiteren T1 für Target 1) war ein blauer Buchstabe (D, F, G, J, K oder L). Der zweite Zielreiz (im weiteren T2 für Target 2) eine schwarze Zahl (1, 2, 3, 4, 5 oder 6).

Die Zielreize waren in sogenannten Distraktoren eingebettet, einer zufälligen Abfolge von bestimmten vorher festgelegten Buchstaben oder bekannten Symbolen. Die Distraktorenauswahl für das Standardexperiment (Verleger et al., 2009) bestand aus allen Buchstaben des Alphabets, außer den Zielreizen. Die neuen Distraktoren für mein Experiment waren Sonderzeichen (!, ?, +, *), die ebenfalls in Schwarz dargestellt wurden. Diese Distraktoren werden im Folgenden als „einfach“ bezeichnet. Zum besseren Verständnis ist die Aufgabe in Abbildung 7 illustriert.

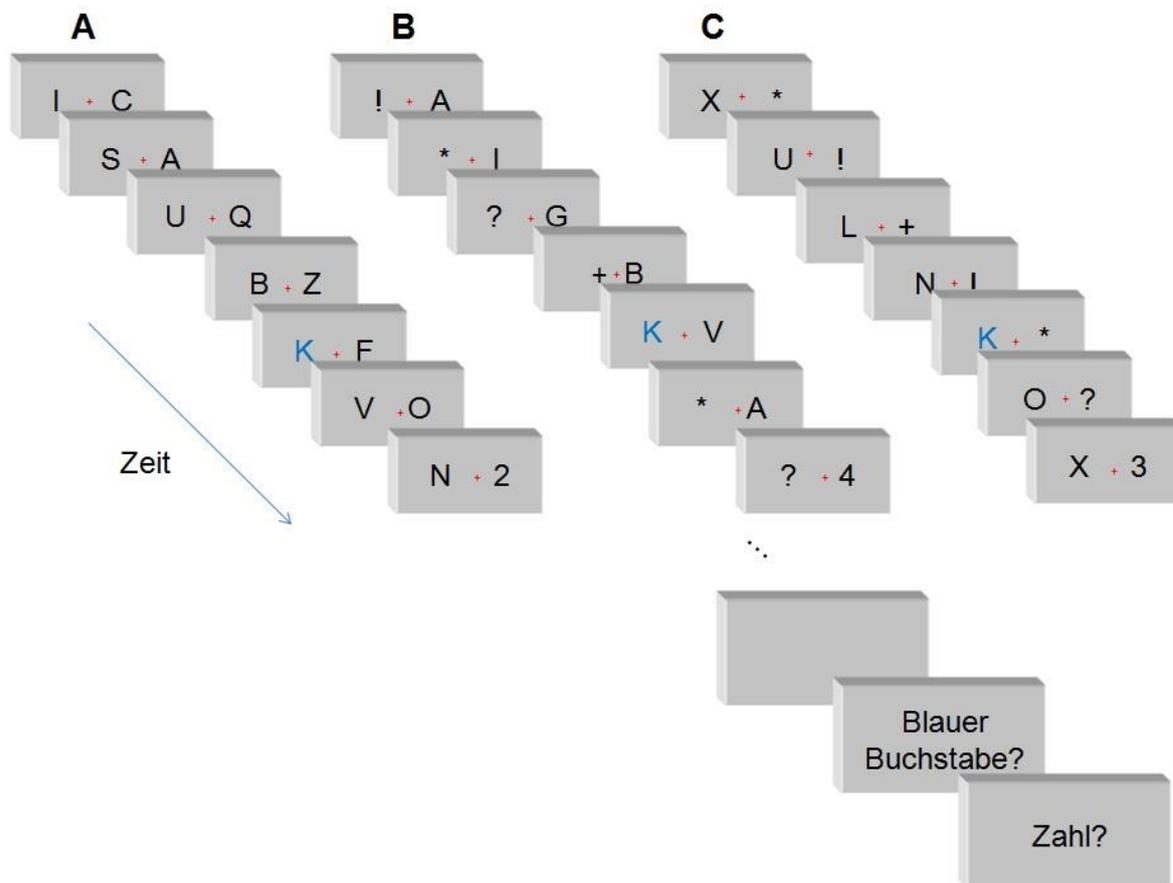


Abbildung 7: Die grauen Kästen stellen vereinfacht den Monitor dar, in dem die Stimuli rechts und links von dem roten Fadenkreuz dargeboten werden. Der Reizstrom A beinhaltet Buchstaben als Distraktoren wohingegen B und C jeweils „einfache“ Distraktoren entweder links (B) oder rechts (C) zeigen. Der Versuchsteilnehmer soll den T1 (blauer Buchstabe) und den T2 (Zahl) erkennen.

In Experiment 1 wurden die Distraktorenbedingung in Blöcken dargeboten: Es gab die Standardbedingung, in der lediglich Buchstaben als Distraktoren dienten, sowie jeweils eine, in der die einfachen Distraktoren entweder rechts oder links präsentiert wurden. Die Reihenfolge, in der die verschiedenen Blöcke gezeigt wurden, wurde über alle Teilnehmer (18) gleichmäßig verändert. Von den möglichen sechs Variationen der Blockreihenfolge verwendeten wir drei (ABC, BCA oder CAB) jeweils 6 Mal. Wie oben bereits erwähnt wurden drei Versuchsteilnehmer ausgeschlossen und zwar einer aus der Blockabfolge ABC sowie zwei aus der Blockabfolge CAB.

Im zweiten Experiment wurden diese drei Bedingungen beibehalten. Der wesentliche Unterschied hier war jedoch, dass sie nicht mehr in Blöcken dargeboten wurden, sondern in randomisierter Folge im Versuchsblock verteilt waren.

Die obengenannte Anzahl der 6 verschiedenen Auswahlmöglichkeiten für T1 und T2 sollte groß genug sein, um die Chance des Versuchsteilnehmers, den Zielreiz zu erraten, gering zu halten. Zusätzlich wurde bedacht, dass sie klein genug sein sollte, so dass die Eingabe der Zielreize für die Versuchsperson nicht zu kompliziert war (Verleger et al., 2011).

Dem T1 gingen fünf, sieben oder neun Distraktorenpaare voraus, um die zielgerichtete zeitliche Erwartung seitens der Versuchspersonen zu erschweren (Naccache et al., 2002). T1 und T2 wurden auf beiden Seiten gleich häufig angezeigt. T2 folgte T1 mit einer Verzögerung von 260 ms (Verzögerung 2) oder 520 ms (Verzögerung 4). Dem T2 folgten wiederum fünf Distraktorenpaare. Dementsprechend variierte die Länge eines Durchlaufes. Es wurden mindestens 14 Buchstabenpaare gezeigt, wenn T1 an siebter Stelle kam und die Verzögerung 2 verwendet wurde. Die Höchstzahl war 19 Buchstabenpaare für den Fall, dass T1 an der zehnten Stelle kam und die Verzögerung 4 verwendet wurde.

Bei jedem Durchgang wurden die Distraktoren zufällig ausgewählt und geändert, ebenso wurde der T1 und T2 zufällig aus dem Repertoire der Zielreize ausgesucht. Es gab jedoch die Einschränkung, dass links und rechts nie die gleichen Buchstaben gezeigt wurden, ebenso gab es keine direkte Wiederholung von denselben Buchstaben (in demselben Reizstrom).

Die einfachen Distraktoren wurden entweder links oder rechts dargeboten, wobei in dem parallel auf der anderen Seite ablaufenden Reizstrom weiterhin Buchstaben als Distraktoren dienten. Als Software zur Steuerung dieser experimentellen Abfolge wurde Presentation® software version 12.1 verwendet (Neurobehavioral Systems Inc.).

Die experimentellen Vorgaben resultierten in vier verschiedenen relevanten Faktoren: Der Verzögerung zwischen T1 und T2 (2 oder 4), die Seite, an der T1 (links oder rechts) präsentiert wurde, die Seite, an der T2 (links oder rechts) präsentiert wurde, sowie das Vorkommen der einfachen Distraktoren, die links, rechts oder gar nicht präsentiert wurden. Somit gab es insgesamt 24 experimentelle Bedingungen. Für jede Bedingung erfolgten 30 Durchgänge, was zu einer Gesamtzahl von 720 Durchgängen führte. Nach 360 Durchgängen wurde eine Pause von einigen Minuten eingelegt.

Die Verzögerungen 2 und 4 wurden bewusst gewählt, um im Gegensatz zu vorausgegangenen Studien (Verleger et al., 2009), in denen man die Verzögerungen 1, 2

und 5 verwendet hatte, eine niedrigere Zahl an Bedingungen aufzustellen, da sonst wegen der 3 Distraktorenbedingungen das Experiment überlang geworden wäre.

4.4 Durchführung

Die Teilnehmer saßen in einem bequemen Armlehnstuhl im Versuchsraum bei leicht gedimmtem Licht dem Bildschirm gegenüber.

Zunächst wurde den Probanden der Ablauf erläutert und eine Probephase mit 10-20 Durchgängen durchgeführt, in der die Aufgabe wesentlich langsamer dargeboten wurde (jedes Stimuluspaar wurde 500 ms lang gezeigt). Danach hatten die Versuchsteilnehmer ebenfalls die Möglichkeit, einige Durchgänge mit der Standardgeschwindigkeit des Versuchs durchzuführen.

Jeder Durchgang fing damit an, dass der Fixierungspunkt (rotes Fadenkreuz) in der Bildschirmmitte dargeboten wurde und auch den ganzen Verlauf des Durchgangs über dort blieb. Die Versuchsteilnehmer wurden angewiesen, dieses Fadenkreuz mit beiden Augen zu fixieren. Des Weiteren sollten die Versuchsteilnehmer nicht blinzeln und sich möglichst wenig bewegen, da sie somit EEG-Artefakte erzeugen konnten. Die Versuchsteilnehmer sollten ebenfalls darauf achten, dass sie das Fadenkreuz bis zum Ende jedes Durchganges fixierten.

Die Versuchspersonen sollten nach jedem Durchlauf den von ihnen erkannten T1 und T2 in eine vor ihnen befindliche Tastatur eingeben: zuerst den T1 Buchstaben in der mittleren Reihe der Tastatur und dann die T2 Zahl auf dem Zahlenfeld rechts der Tastatur. Falls die Versuchsperson meinte, den dargebotenen Reiz nicht erkannt zu haben, sollte trotzdem eine Eingabe erfolgen. Nach der Eingabe des T1 und T2 Reizes fixierte der Versuchsteilnehmer das Fadenkreuz erneut und der nächste Durchgang startete 800 ms später.

Die Vorbereitungszeit des Versuches dauerte ungefähr eine Stunde, in der die EEG-Elektroden angebracht wurden, die Probephase durchlaufen wurde sowie die Einverständniserklärung und das Edinburgh Händigkeit-Inventar ausgefüllt wurden. Der eigentliche Versuch dauerte ungefähr 1,5 Stunden, wobei sich die Versuchsteilnehmer in ihrer Schnelligkeit ein wenig unterschieden.

4.5 Infrarot-Augenkontrolle

Zum Zeitpunkt meines zweiten Experimentes bestand die Möglichkeit, die Bewegungen der linken und rechten Pupille mit einer Infrarot-Kamera, einem sogenannten Eyetracker (Eyegaze Analysis System, Interactive Minds, Dresden), zu kontrollieren. Diese Kamera arbeitete mit einer Bildfrequenz von 60 Hz. Die Versuchsteilnehmer hatte das Fadenkreuz in der Mitte zu fixieren; falls sie zu Beginn eines Durchgangs davon abwichen, wurde 500 ms lang ein rotes Ausrufezeichen gezeigt, das sie zur erneuten Fixation aufforderte. Der Durchgang startete nach weiteren 2 s Pause. Der Grund, dieses Verfahren zu wählen, war die so zusätzlich mögliche Kontrolle, dass die Verarbeitung der dargebotenen Reize hemisphärengetrennt stattfand. Zusätzlich wurde ein horizontales Elektroofokulogramm (hEOG) verwendet (s. Kapitel 4.1.7). Mit Hilfe des Eyetrackers lässt sich jedoch eine höhere Messgenauigkeit erzielen, da die absolute Blickposition genauer erkannt werden kann. Hierzu wurde die Pupil-Center-Corneal-reflection (PCCR) Methode verwendet. Bei dieser Methode wurde die durch die infrarote Leuchtdiode der Kamera hervorgerufene Reflektion der Pupille des Versuchsteilnehmers genutzt. Das rote Ausrufezeichen erschien, sobald die Versuchsteilnehmer mehr als 20 Pixel (0,625 cm) nach links oder rechts vom Zentrum des Fixationskreuzes abwichen. Das Zentrum der Pupillen- sowie Kornealreflexion wurde mit Hilfe einer Bildverarbeitungssoftware bestimmt. Die Software verwendete ein trigonometrisches Rechenverfahren durch das die Blickrichtung ermittelt werden konnte (www.eyegaze.com Tag des Zugriffs: 07.03.2012). Das Infrarotbild war kontinuierlich für den Versuchsleiter auf dem Kontrollbildschirm zu sehen, sodass die Funktion des Systems überprüft werden konnte.

4.6 EEG-Aufzeichnung und Vorbereitung

Zunächst musste der Kopf des Versuchsteilnehmers vermessen werden, um die geeignete Größe einer EasyCap-EEG-Haube zu ermitteln. Die Haube wurde dem Versuchsteilnehmer aufgesetzt, zurechtgerückt und mit einem elastischen Riemen um das Kinn geschlossen.

Die Kopfhaut der Versuchsteilnehmer wurde vor dem Anbringen der Elektroden an den für die Elektroden vorgesehenen Stellen mit auf Wattestäbchen aufgebrachtem Alkohol (Cutasept® der Firma Bode Chemie, Hamburg) vorbehandelt. Anschließend nahm man ein abrasives Elektrodengel (Natriumchlorid, Lapis pumicis, Traganth, Glycerin, Kaliumhydrogentartrat und Phenol liquidum 0,2 % in wässriger Lösung, Theodor-Körner-Apotheke, Graz, Österreich), das auf der Kopfhaut die Leitfähigkeit verbesserte. Der Übergangswiderstand zu den Elektroden wurde dadurch so weit verringert, dass alle Ableitungen einen Widerstand unterhalb von 5 kOhm besaßen.

Die Ableitungen des Elektroenzephalogramms (EEG) erfolgte mit Silber/Silberchlorid Elektroden (Ag/AgCl) (Easycap, www.easycap.de) an 60 Stellen des Kopfes (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), s. in Abbildung 8 die schematische Darstellung der Elektrodenposition. Die Bezeichnung der Elektrodenpositionen bezieht sich auf das international anerkannte 10-10 System (Oostenveld und Praamstra, 2001), das eine Weiterentwicklung des ursprünglichen 10-20 Systems ist. Zusätzlich befestigte man Elektroden oberhalb und unterhalb des rechten Auges sowie seitlich der Augenränder.

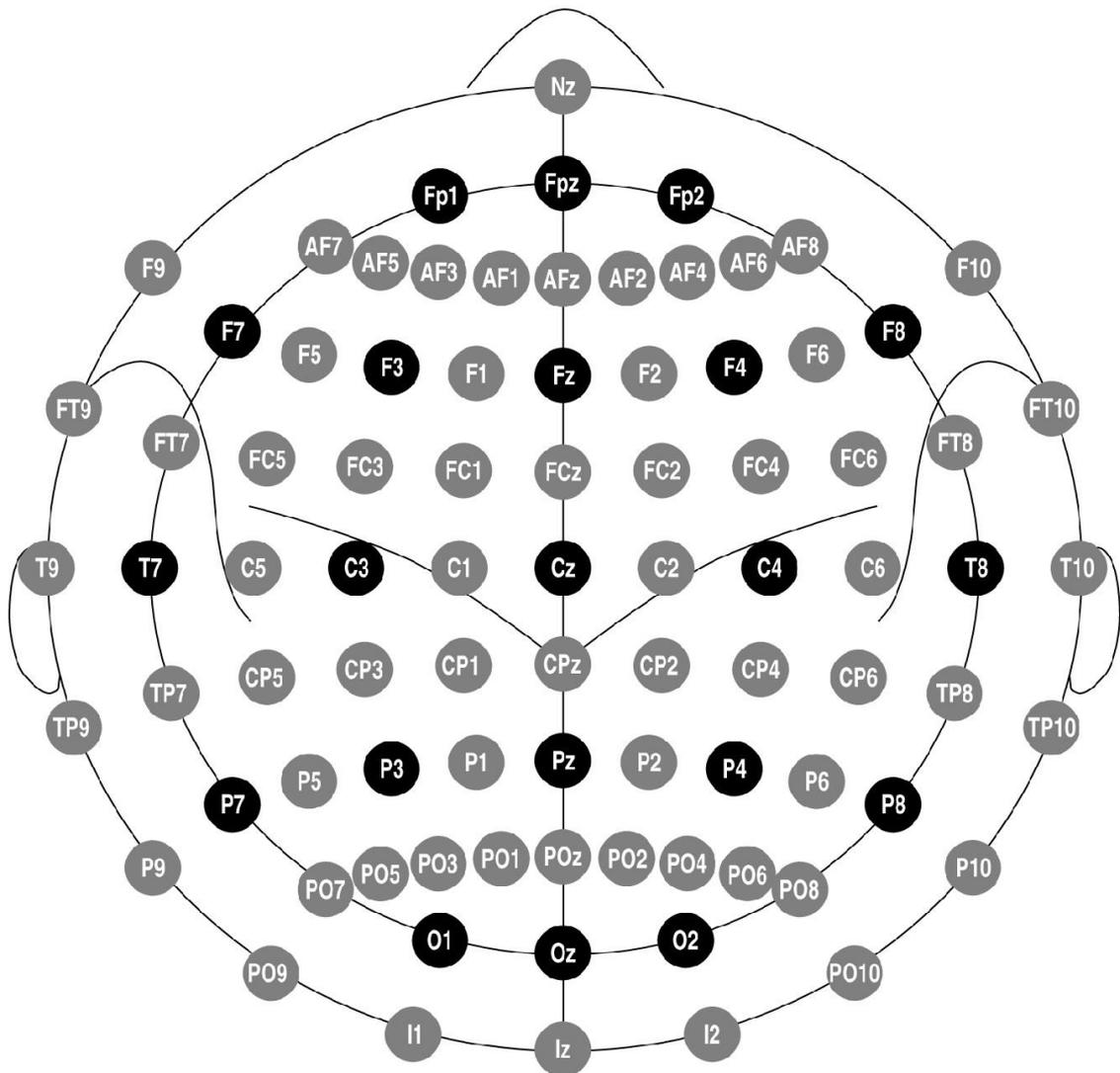


Abbildung 8: Die schwarzen Kreise sind das 10-20 System und die grauen Kreise die Erweiterung im 10-10 System (Oostenveld und Praamstra, 2001). Die Abkürzung bezeichnen die Position der Elektrode: AF für antero-frontal, F für frontal, C für zentral, T für temporal, CP für zentro-parietal, FC für fronto-zentral, P für parietal, PO für parieto-okzipital, O für okzipital. Für die weitere Lokalisierbarkeit kommen Zahlen oder der Buchstabe z hinzu. Ungerade Zahlen stehen für die linke Seite, gerade Zahlen für rechte Seite des Kopfes. Der Zusatzbuchstabe z (= zero = engl. Null) steht für eine Lokalisation auf der Medianlinie des Kopfes. Von 60 der dargestellten 85 Elektroden wurde in diesem Experiment abgeleitet.

Die Elektrode an Position Fz diente als On-line Referenzelektrode. Die Daten wurden Off-line auf die Nasenspitze umreferenziert. Die Erdungselektrode wurde an der Fpz-Position angebracht. Die Aufzeichnung der Augenbewegungen erfolgte horizontal und vertikal über die dort angebrachten Elektroden als Elektrookulogramm. Der Ableitung des vertikalen EOG (vEOG) dienten Elektroden, die über und unter dem rechten Auge angebracht waren.

Das horizontale EOG (hEOG) wurde über Elektroden an den äußeren Augenrändern abgeleitet. Mithilfe der EOGs konnte eine spätere Offlinekorrektur stattfinden, in der Blinzeln und gerichtete Augenbewegungen im EEG erkannt werden konnten.

Das EEG ist aus Kanälen aufgebaut. Um die EEG- Signale zu digitalisieren und somit graphisch wiedergeben zu können besteht ein solcher Kanal aus einem Verstärker und einem Analog-Digital-Wandler.

Die aufgezeichneten Daten wurden in einem Messbereich von 0 Hz bis 250 Hz von einem BrainAmp MR plus (BrainProducts GmbH, Gilching, Deutschland) verstärkt und anschließend mit einer Abtastrate von 500 Hz durch den Analog-Digital-Wandler aufgezeichnet.

Die kontinuierliche Speicherung der digitalisierten Signale erfolgte auf der Festplatte des Aufzeichnungsrechners zusammen mit einem vom Stimulus-Rechner erzeugten digitalen Code. Der digitale Code ordnete die EEG-Daten zeitlich den Verhaltensereignissen zu. Somit ließen sich die Blockanfänge, die Darbietung der Reize, die Eingabe der Antworten und die Korrektheit der Lösung den EEG-Daten zuordnen.

4.7 Datenverarbeitung

Die weitere Verarbeitung der EEG-Aufzeichnungen erfolgte durch die BrainVision Analyzer Software (Version 1.05 – BrainProducts GmbH, Gilching, Deutschland). Mithilfe dieses Programm wurde als erster Schritt eine Tiefpassfilterung der Daten bei einer Grenzfrequenz von 20 Hz durchgeführt.

Um nicht zu viele Daten als Artefakte ausschließen zu müssen, wurde für die durch T1 und T2 evozierten Potentiale und VEPs spezielle Zeitintervalle ausgewählt. Das Intervall der VEP-Daten begann 100 ms vor dem Erscheinen des Reizstromes und erstreckte sich über einen Zeitraum von 1,77 s. Das Intervall der Daten, die durch T1 evoziert wurden, betrug 800 ms. Es begann 100 ms vor der Darbietung des T1 und endete 700 ms danach. Die ersten 100 ms bildeten die Grundlinie für die Analyse der folgenden Daten. Hier wurde die EEG-Komponente N2pc untersucht.

Für die Daten der durch T2 evozierten Potentiale galt dieselbe Grundlinie, jedoch unterschieden sich die zu untersuchenden Intervalle. Das Intervall der Komponente N2pc begann 100 ms vor Erscheinen des T1 und endete 500 ms nach T2. Aufgrund der unterschiedlichen Verzögerungen (Verzögerung 2 und 4) variierten die Intervalle. Die Wahl der Intervalle sollte Artefakte verhindern, die entstehen konnten, wenn die Versuchsteilnehmer bereits die Zielreize eingaben. In dieser Phase sind Artefakte besonders häufig (Verleger et al., 2011).

Durchgänge ohne Spannungssignal und Durchgänge, die sich außerhalb des Bereiches von $-100 \mu\text{V}$ bis $100 \mu\text{V}$ befanden, wurden entfernt, um die Anzahl der Artefakte im EEG niedrig zu halten. Eine weitere Maßnahme der Artefaktreduzierung war es, die Durchgänge zu entfernen, in denen Spannungssprünge von $\geq 30 \mu\text{V}$ oder Spannungsdifferenzen von $\geq 150 \mu\text{V}$ vorkamen. Bei Teilnehmern mit vielen Artefakten in den EEG-Kurven wurden diese visuell überprüft. Hierbei wurde kontrolliert, ob die Artefakte gegebenenfalls lediglich durch eine für den Versuch weniger wichtige Elektrode entstanden waren. In diesen Fällen wurden die restlichen Daten akzeptiert.

Bei den Visuell Evozierten Potentialen (VEPs) wurden die oben genannten Bedingungen etwas erweitert. Diese Entscheidung wurde gefasst, da die VEPs zu Beginn der Durchgänge große Amplituden aufweisen konnten und somit die Spannungssprünge und Spannungsdifferenzen auch größer waren. Spannungsdifferenzen bis $200 \mu\text{V}$ und Spannungssprünge bis $50 \mu\text{V}$ konnten akzeptiert werden.

Die horizontalen Abweichungen von der Fixation des Kreuzes wurden mithilfe des horizontalen Elektroofokulogramms (hEOG) überprüft. Es wurden die ipsilateralen Daten, bezogen auf die Seite des T1, von denen der kontralateralen Seite subtrahiert. Falls im arithmetischen Mittel der gesamten hEOG-Daten eines Versuchsteilnehmers Spannungen auftraten, die in einem Zeitraum von 700 ms mehr als $8 \mu\text{V}$ von der Grundlinie abwichen, so wurde dies als willkürliche Augenbewegung von mehr als $0,6^\circ$ in Richtung des T1 gewertet. In diesem Fall wurden die EEG-Daten der Versuchsteilnehmer nicht verwendet, was in Experiment 1 zum Ausschluss von 4 und in Experiment 2 von 3 Personen führte.

Der weiteren Qualitätssteigerung der Daten diente das vertikale Elektroofokulogramm (vEOG). Durch dieses konnten Blinzelnbewegungen der Augenlider erfasst werden. Die

Grenze der Spannungssprünge betrug $\geq 30 \mu\text{V}$, höhere Werte führten zum Ausschluss des Durchgangs.

4.8 Analyse der Verhaltensdaten

Um die Ergebnisse der T1-Eingabe auszuwerten, wurde die Summe der korrekt angegebenen T1-Zielreize durch die Gesamtzahl aller Durchgänge dividiert. Die T2-Erkennung war hierbei nicht relevant. Die Auswertung von T2 gestaltete sich anders, da T1 vor T2 erkannt werden sollte, um Aussagen darüber treffen zu können, inwiefern T2 in Abhängigkeit von T1 verarbeitet wurde. Bei einem nicht erkannten T1 war anzunehmen, dass T2 als erster Zielreiz wahrgenommen und verarbeitet wurde. Folglich wurden nur alle Durchgänge ausgewertet, in denen sowohl T1 als auch T2 richtig erkannt worden war. Diese Zahl wurde anschließend durch die Durchgänge, in denen T1 erkannt wurde, dividiert.

4.9 Analyse des EEGs

4.9.1 Allgemeine Analyse

Für die Analyse der EEG-Komponenten wurden nur artefaktfreie Durchgänge verwendet.

Die der Analyse zugeführten EEG-Komponenten waren die VEPs sowie die von T1 und T2 evozierte N2pc-Komponente. Die VEPs ohne Artefakte wurden alle analysiert, wohingegen nur die N2pc-Komponenten relevant waren, in denen T1 und T2 korrekt erkannt wurden. Die Punkte an denen die Messungen erhoben wurden, sind in Abbildung 9 veranschaulicht.

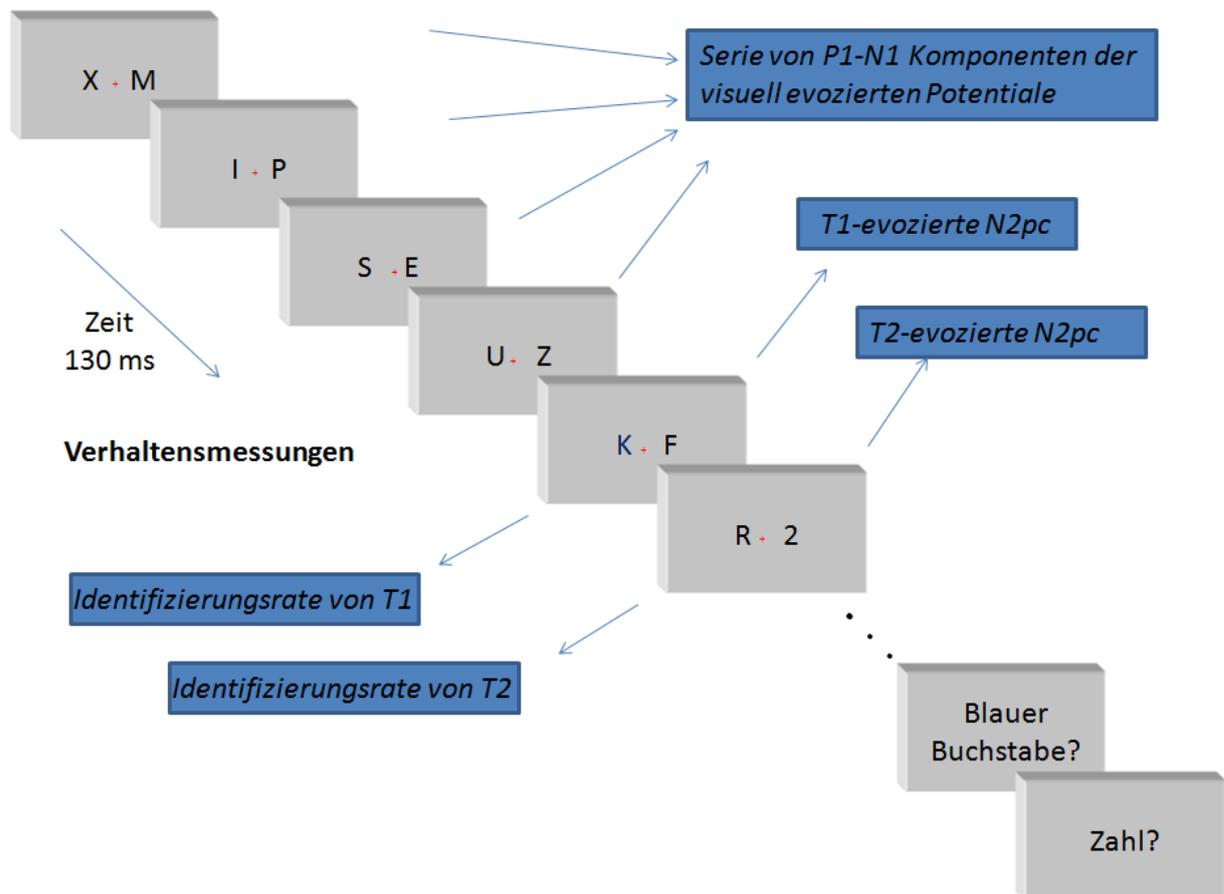


Abbildung 9: Darstellung einer verkürzten Durchgangsstruktur der relevanten EEG-Komponenten und Verhaltensmessungen.

Die Analyse der verschiedenen EEG-Komponenten erfolgte für jeden Probanden innerhalb des arithmetischen Mittels der jeweiligen artefaktfreien Durchgänge. Um die Resultate der Analyse von N2pc-Komponente und der VEPs zu veranschaulichen, wurde das arithmetische Mittel der Mittelwerte aller Versuchsteilnehmer (sog. "grand mean") errechnet und in Form von Graphen dargestellt.

4.9.2 Analyse der VEPs

Die Daten für die Analyse der durch Distraktoren verursachten VEPs beinhaltete dieselben Versuchsteilnehmer wie die der Verhaltensdaten.

Um den Zeitversatz der VEPs miteinander zu vergleichen, wurden Kreuzkorrelationen von den Daten der PO7 und PO8 Elektroden durchgeführt, da sie die höchsten VEP-

Amplituden zeigten. Hierbei wurde der Zeitversatz zwischen den VEP-Kurven der beiden Hemisphären berechnet. Bei dieser Methode wurde die gesamte Form der Kurve und nicht etwa die Latenz oder Amplitude einzelner Komponenten verglichen. Die Verzögerung wurde durch Verschieben der Wellenformen, die eine Dauer von 800 ms hatten, der einzelnen Teilnehmer von der PO7-Komponente gegen die symmetrische PO8-Komponente in 2 ms Schritten innerhalb von ± 50 ms bestimmt. Es wurde der Versatz mit dem größten Kreuzkorrelationswert ausgewählt (Okon-Singer et al., 2011). Die Dauer von 800 ms wurde gewählt, um die ersten fünf P1- und N1-Ausschläge einzuschließen und endete vor dem N1-Ausschlag des sechsten Stimuluspaars, das bereits den T1-Zielreiz enthalten konnte.

4.9.3 Analyse der N2pc-Komponente

Die von T1 und T2 evozierte N2pc-Komponente wurde in den Daten der Elektroden PO7 und PO8 bestimmt, da sie in diesen den höchsten Ausschlag hatte. Die N2pc wurde jeweils in der rechten und linken Hemisphäre gemessen. Aus einer gegebenen Ableitung wurde die Differenz der durch T1 und T2 evozierten, kontralateralen und ipsilateralen Daten errechnet (Oostenveld et al., 2003). Diese Subtraktion diente der Filterung von systematischen Signalen, welche durch den stetigen Standard-Reizstrom entstanden waren. Des Weiteren wurden so nicht-zielreizbezogene Hemisphärenasymmetrien heraussubtrahiert. Die N2pc-Komponente konnte so deutlicher sichtbar dargestellt werden.

Im Fall der Buchstabendistraktoren bestand das Vorgehen darin, dass die Differenz der Daten der T1-N2pc aus der Elektrode PO7 der linken Hemisphäre für jeweils einen Durchgang mit kontralateraler_(rechts) Darbietung von einem Durchgang ipsilateraler_(links) Darbietung gebildet wurde ($PO7_{T1-Rechts\ kontralateral} - PO7_{T1-Links\ ipsilateral}$). Entsprechend wurden die Daten der Elektrode PO8 der rechten Hemisphäre subtrahiert ($PO8_{T1-Links} - PO8_{T1-Rechts}$).

Bei den verschiedenen Bedingungen mit einfachen Distraktoren war die Auswahl der Subtrahenden zusätzlich abhängig davon, auf welcher Seite die Distraktoren im Verhältnis zum Zielreiz vorkamen.

Wenn der Zielreiz auf derselben Seite wie die einfachen Distraktoren war, wurde die Differenz beispielhaft für PO8 folgendermaßen gebildet: PO8_{T1-Links und einfache Distraktoren links} kontralateral – PO8_{T1-Rechts und einfache Distraktoren rechts} ipsilateral.

Für den Fall, dass die Distraktoren und Zielreize in verschiedenen Reizströmen vorkamen ergab sich folgende beispielhafte Berechnung: PO8_{T1-Links und einfache Distraktoren rechts} kontralateral – PO8_{T1-Rechts und einfache Distraktoren links} ipsilateral.

Eine Besonderheit stellte die Berechnung bei Darbietung des T2 dar, da hier zusätzlich die Bedingung berücksichtigt werden musste, ob der T1 und T2 in denselben oder verschiedenen Reizströmen vorkamen. Kamen T1 und T2 im selben Reizstrom vor, so wurde prinzipiell analog der oben beschriebenen Berechnung der T1-Komponente vorgegangen und berücksichtigt, dass nun sowohl T1 als auch T2 auf derselben Seite waren.

Kamen T1 und T2 in verschiedenen Reizströmen vor, so musste beispielhaft (in diesem Fall sind T2 und die einfachen Distraktoren auf derselben Seite) folgende Variation der Subtrahenden angewandt werden: PO8_{T2-Links (T1-Rechts), einfache Distraktoren links} kontralateral – PO8_{T2-Rechts (T1-Links), einfache Distraktoren rechts} ipsilateral.

Durch den größten negativen Spannungsaus Schlag in dem Zeitintervall von 190-240 ms nach der Darbietung des T1 bzw. T2 konnte die Amplitude der N2pc-Komponente bestimmt werden.

4.10 Statistische Analyse

Für die statistische Analyse der Identifikationsraten wurde eine Varianzanalyse (engl. ANOVA = analysis of variance) mit Messwiederholung durchgeführt. Die Auswertung erfolgte in zwei Schritten. Im ersten Schritt gingen die Effekte der Standardbedingung in eine ANOVA ein. Im zweiten Schritt wurden die Effekte der einfachen Distraktoren analysiert, indem Differenzen von einfachen Distraktoren auf der gleichen Seite wie der Zielreiz mit der Standardbedingung und einfachen Distraktoren auf der anderen Seite wie der Zielreiz mit der Standardbedingung gebildet wurden. Diese Differenzen wurden in einer weiteren ANOVA analysiert und werden im Ergebnisteil vorgestellt. Da nicht die

Untersuchung der Verzögerungseffekte im Vordergrund dieser Arbeit stand, wurden die Verzögerungen 2 und 4 gemittelt dargestellt.

Für die ANOVA Standardbedingung gab es zwei Messwiederholungsfaktoren: Seite der Reizpräsentation (Rechts oder Links, der Reiz war hierbei T1 oder T2, je nach Analyse), Seitenwechsel (gleichseitig oder verschiedenseitig wie der andere Reiz) und den Gruppenfaktor Experiment. Für die ANOVA der Unterschiede der einfachen Distraktorenbedingung zur Standardbedingung gab es drei Messwiederholungsfaktoren: Seite der einfachen Distraktoren (gleichseitig oder verschiedenseitig wie der Reiz), die Seite der Reizpräsentation (Rechts oder Links), Seitenwechsel (gleichseitig oder verschiedenseitig wie der andere Reiz) und den Gruppenfaktor Experiment.

5. Ergebnisse

5.1 Ergebnisse der Verhaltensdaten

Die genauen Prozentangaben der Durchgänge aus Experiment 1 und 2, in denen die Zielreize erkannt worden sind, sind in Tabelle 1 (Experiment 1) und 2 (Experiment 2) dargestellt. Die Auswertung erfolgte in zwei Schritten. Zunächst wurde die Standardbedingung (mit Buchstaben als Distraktoren) ausgewertet. In einem zweiten Schritt wurden die Unterschiede der einfachen-Distraktorenbedingung zur Standardbedingung ausgewertet.

Erkennungsraten Experiment 1

T1-Seite	links		rechts	
T2-Seite	links	rechts	links	rechts
T1				
Buchstaben	79 (14)	82 (12)	81 (16)	81 (15)
Einfache Distraktoren selbe Seite wie T1	99 (02)	99 (02)	99 (02)	99 (02)
Einfache Distraktoren andere Seite als T1	84 (11)	86 (10)	81 (09)	82 (11)
T2 T1				
Buchstaben	77 (20)	66 (18)	78 (22)	52 (20)
Einfache Distraktoren selbe Seite wie T2	88 (14)	83 (18)	82 (16)	70 (18)
Einfache Distraktoren andere Seite als T2	75 (21)	70 (17)	82 (15)	74 (20)

Tabelle 1: Hier sind die korrekten Zielreizerkennungen als Mittelwerte und Standardabweichungen für das Experiment 1 in Prozent angegeben. Im oberen Teil der Tabelle sind die Durchgänge, in denen T1 richtig erkannt wurde, relativ zu allen Durchgängen angegeben. Im unteren Teil der Tabelle ist die T2-Erkennung relativ zu den Durchgängen angegeben, in denen T1 korrekt erkannt wurde. Die Werte sind über alle Versuchsteilnehmer und die Verzögerungen 2 und 4 gemittelt.

Erkennungsraten Experiment 2

T1-Seite	links		rechts	
T2-Seite	links	rechts	links	rechts
T1				
Buchstaben	82 (13)	84 (11)	83 (09)	85 (08)
Einfache Distraktoren selbe Seite wie T1	97 (05)	99 (02)	98 (02)	99 (01)
Einfache Distraktoren andere Seite als T1	83 (14)	86 (10)	84 (12)	87 (09)
T2 T1				
Buchstaben	91 (12)	81 (13)	86 (15)	59 (16)
Einfache Distraktoren selbe Seite wie T2	93 (07)	87 (10)	87 (11)	68 (10)
Einfache Distraktoren andere Seite als T2	87 (12)	80 (14)	85 (10)	69 (17)

Tabelle 2: Hier sind die korrekten Zielreizerkennungen als Mittelwerte und Standardabweichungen für das Experiment 2 in Prozent angegeben. Im oberen Teil der Tabelle sind die Durchgänge, in denen T1 richtig erkannt wurde, relativ zu allen Durchgängen angegeben. Im unteren Teil der Tabelle ist die T2-Erkennung relativ zu den Durchgängen angegeben, in denen T1 korrekt erkannt wurde. Die Werte sind über alle Versuchsteilnehmer und die Verzögerungen 2 und 4 gemittelt.

In dem ersten Schritt waren die Faktoren mit Messwiederholungen der ANOVA die Darbietungsseite des T1 (links, rechts) und die Darbietungsseite des darauf folgenden T2 (dieselbe Seite wie T1, andere Seite als T1). Der Gruppenfaktor war, ob die Distraktorenbedingungen in Blöcken (E1) oder als randomisierte Reihenfolge dargeboten wurden (E2). Da sich die Ergebnisse in den beiden Experimenten nicht wesentlich änderten (alle $F \leq 3,3$; alle $p \geq 0,08$) sind die Daten in Abbildung 11 und 12 über beide Experimente gemittelt dargestellt. Bei der Varianzanalyse des T2 wurde analog der des T1 vorgegangen, wobei sich der Messwiederholungsfaktor der Darbietung des T1 und der Darbietung des T2 vertauschte.

Die T1-Erkennungsrate für die Buchstaben als Distraktoren erreichte hohe Werte zwischen 80 und 90 %. Die Seite der Darbietung des T1 hatte keinen Effekt auf die, ohnehin sehr gute, T1-Erkennungsrate. Für T1 ließ sich hier kein signifikanter Effekt beschreiben.

Es ist in Abbildung 11 zu sehen, dass der T2 besser bei Darbietung auf der linken als auf der rechten Seite erkannt wird (T2 Seite: $F_{1,28} = 71,0$; $p < 0,001$). Dieser Unterschied war größer, wenn die Seite, an der T1 und T2 präsentiert wurde, verschieden war, als wenn sie dieselbe war (T2-Seite x T1: $F_{1,28} = 32,6$; $p < 0,001$; T2 auf derselben Seite wie T1: $F_{1,28} = 14,3$; $p = 0,001$; für T2 mit T1 auf der anderen Seite: $F_{1,28} = 110,0$; $p < 0,001$). Neben der unterschiedlichen Erkennung des T2 in Abhängigkeit von der Seite der Darbietung (links besser als rechts) gab es einen weiteren Effekt, der die Erkennung beeinflusste. T2 wurde besser erkannt, wenn der vorausgegangene T1 auf derselben Seite präsentiert wurde (T1 auf derselben Seite: $F_{1,28} = 34,9$; $p < 0,001$). Es gab keinen signifikanten Effekt bei der Analyse des Gruppenfaktors Experiment ($F_{(\text{von Allen})} \leq 3,3$; $p_{(\text{von Allen})} \geq 0,08$). Dies ist der Grund dafür, dass hier die Ergebnisse der beiden Experimente gemittelt dargestellt werden.

5.1.1 Unterschiede der Erkennung des T1 bei einfachen und Buchstabendistraktoren

In der anschließenden Analyse wurden die Unterschiede zwischen den einfachen-Distraktoren und den Buchstabendistraktoren untersucht. Die drei Messwiederholungsfaktoren waren die Seite des T1, Seite des T2 (im selben Reizstrom wie der T1 oder im anderen) und die Seite der einfachen-Distraktoren (im selben Reizstrom

wie T1 oder im anderen). Der Gruppenfaktor war wieder, ob die Distraktorenbedingungen in Blöcken (E1) oder als randomisierte Reihenfolge dargeboten wurden (E2).

In Abbildung 10 sind Ergebnisse für die verschiedenen Bedingungen illustriert. Wurde der T1 im Reizstrom von einfachen Distraktoren umgeben, so wurde er besser erkannt als wenn die einfachen Distraktoren auf der anderen Seite waren (einfache Distraktoren auf derselben Seite wie T1 vs. auf der anderen Seite als T2: $F_{1,28} = 60,2$; $p < 0,001$). Es ließen sich keine anderen signifikanten Effekte beschreiben.

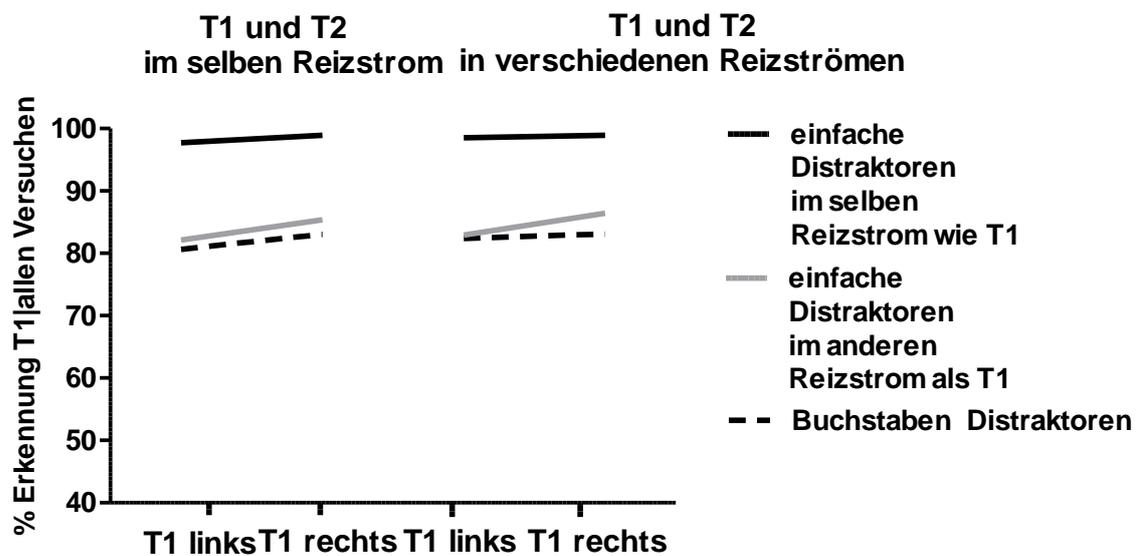


Abbildung 10: Hier sind die Erkennungsraten von T1 relativ zu allen Durchgängen dargestellt. Jeweils für die Bedingungen, dass einfache Distraktoren im selben Reizstrom wie T1 (schwarze Linie) oder in einem anderen waren (graue Linie), sowie wenn Buchstaben die Distraktoren waren (gestrichelte Linie). Des Weiteren ist danach unterteilt, ob T1 und T2 im selben oder in verschiedenen Reizströmen vorkamen.

5.1.2 Unterschiede der Erkennung des T2 bei einfachen und Buchstabendistraktoren

Die Ergebnisse sind in der Abbildung 11 dargestellt. Wenn der T1 und der T2 in einem Reizstrom vorkamen, wurde der T2 besser erkannt wenn die einfachen Distraktoren im selben als im anderen Reizstrom vorkamen (Einfache Distraktoreenseite x T1- und T2-Seite: $F_{1,28}=21,0$; $p < 0,001$; Effekt der einfachen Distraktoren für T1 und T2 auf derselben Seite: $F_{1,28}=34,1$; $p < 0,001$), wohingegen die einfache Distraktoreenseite keinen Effekt hatte wenn T1 und T2 in verschiedenen Reizströmen waren ($F_{1,28} = 0,2$; n.s.). In diesem Fall war jedoch die T2-Seite wichtig, die die erwartete interhemisphärische Interaktion andeutete

(T2-Seite x T1- und T2-Seite: $F_{1,28} = 6,7$; $p = 0,02$; T2-Seite für T1 und T2 auf derselben Seite: $F_{1,28} = 2,6$; n.s.; für T1 und T2 auf verschiedenen Seiten: $F_{1,28} = 25,5$; $p < 0,001$): Der rechte T2 wurde besser als in der Standardbedingung erkannt, wenn T2 als auch wenn T1 zwischen einfachen Distraktoren präsentiert wurde (konstanter Term der ANOVAs für diese zwei Bedingungen: $F_{1,28} = 34,8$ und $23,2$; $p < 0,001$ für beide). Der linke T2 verbesserte sich hingegen weder wenn T2 noch wenn T1 in demselben Reizstrom wie die einfachen Distraktoren waren (konstanter Term der ANOVAs: $F_{1,28} = 1,7$; n.s.; $F_{1,28} = 1,1$; n.s.).

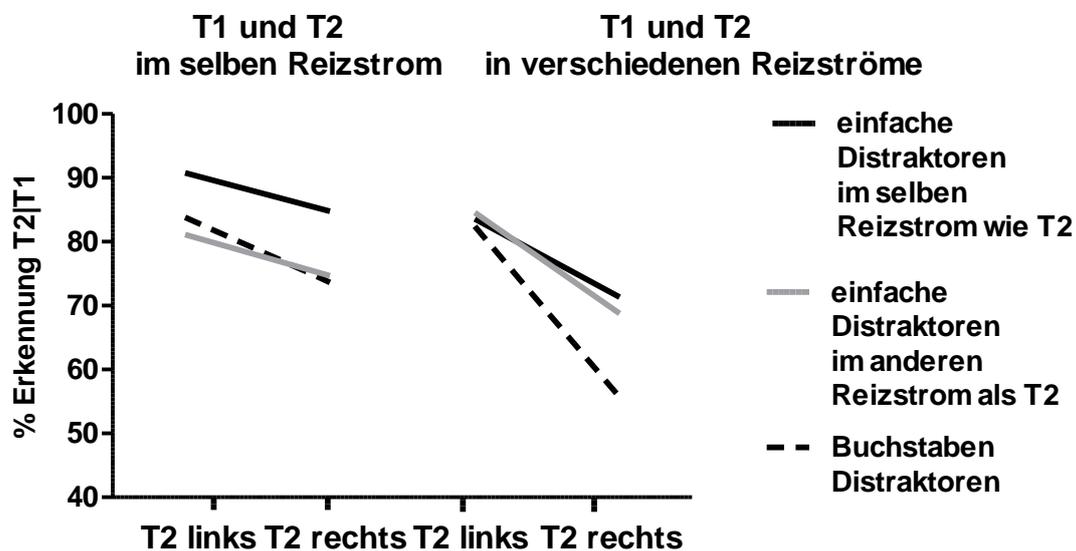


Abbildung 11: Hier sind die Erkennungsraten von T2 dargestellt. Jeweils für die Bedingungen, dass einfache Distraktoren im selben Reizstrom wie T1 (schwarze Linie) oder in einem anderen waren (graue Linie), sowie wenn Buchstaben die Distraktoren waren (gestrichelte Linie). Des Weiteren ist danach unterteilt, ob T1 und T2 im selben oder in verschiedenen Reizströmen vorkamen.

Neben den Interaktionen von einfache-Distraktorenseite x T1-Seite und T2-Seite x T1-Seite, waren die Haupteffekte signifikant, wurden aber von den genannten Interaktionen verändert und werden deshalb nicht weiter beschrieben (Einfache-Distraktorenseite: $F_{1,28} = 12,9$; $p = 0,001$; T1 Seite: $F_{1,28} = 4,4$; $p = 0,04$; T2 Seite: $F_{1,28} = 21,4$; $p < 0,0001$).

Bei blockweiser Variation war der verbessernde Effekt der einfachen Distraktoren auf die T2-Erkennung im Allgemeinen größer als bei zufälliger Variation (Experiment $F_{1,28} = 5,4$;

$p < 0,03$). Wichtig ist jedoch, dass der Gruppenfaktor des Experiments keine Wechselwirkung mit anderen Faktoren hatte ($F \leq 2,8$; $p \geq 0,1$, für alle Interaktionen).

5.2 Ergebnisse der EEG-Ableitungen

5.2.1 Visuelle evozierte Potentiale

In Abbildung 12 sind die PO7- und PO8-Ableitungen für die verschiedenen Bedingungen in Experiment 1 und 2 dargestellt. Man sieht eine Folge von positiven und negativen Ausschlägen, die von den aufeinander folgenden Stimuluspaaren ausgelöst wurden.

Der zeitliche Versatz der PO7- gegenüber der PO8-Ableitung wurde, wie im Methodenteil dargestellt, über Kreuzkorrelation berechnet. Die Varianzanalyse dieses Versatzes erfolgte ebenso wie die Analyse der Verhaltensdaten in zwei Stufen. Im ersten Schritt wurde der Versatz für die Standardbedingung analysiert. Es gab hierbei den Gruppenfaktor Experiment (blockweise vs. randomisiert).

Der Versatz betrug im Mittel 2 ms (Standardabweichung 5 ms). Dies war von Null verschieden (konstanter Term der ANOVA: $F = 4,5$; $p = 0,04$). Der Gruppenfaktor Experiment hatte keinen Einfluss.

Im zweiten Schritt wurden die Unterschiede der einfachen Distraktorenbedingung von der Standardbedingung analysiert. Der Messwiederholungsfaktor war die Seite der einfachen Distraktoren und der Gruppenfaktor Experiment.

Die Seite der einfachen Distraktoren hatte einen großen Effekt: $F = 78,3$; $p < 0,001$. Die Latenzen an den Elektroden kontralateral zu den einfachen Distraktoren wurden langsamer. Dadurch war der Versatz bei linksseitigen einfachen Distraktoren umgekehrt (-2 ms) und somit negativ (konstanter Term der ANOVA: $F = 4,2$; $p = 0,05$) und bei rechtsseitigen einfachen Distraktoren weiter vergrößert (7 ms) und eindeutig signifikant ($F = 32,5$; $p < 0,001$). Der Gruppenfaktor Experiment hatte auch hier keinen Einfluss.

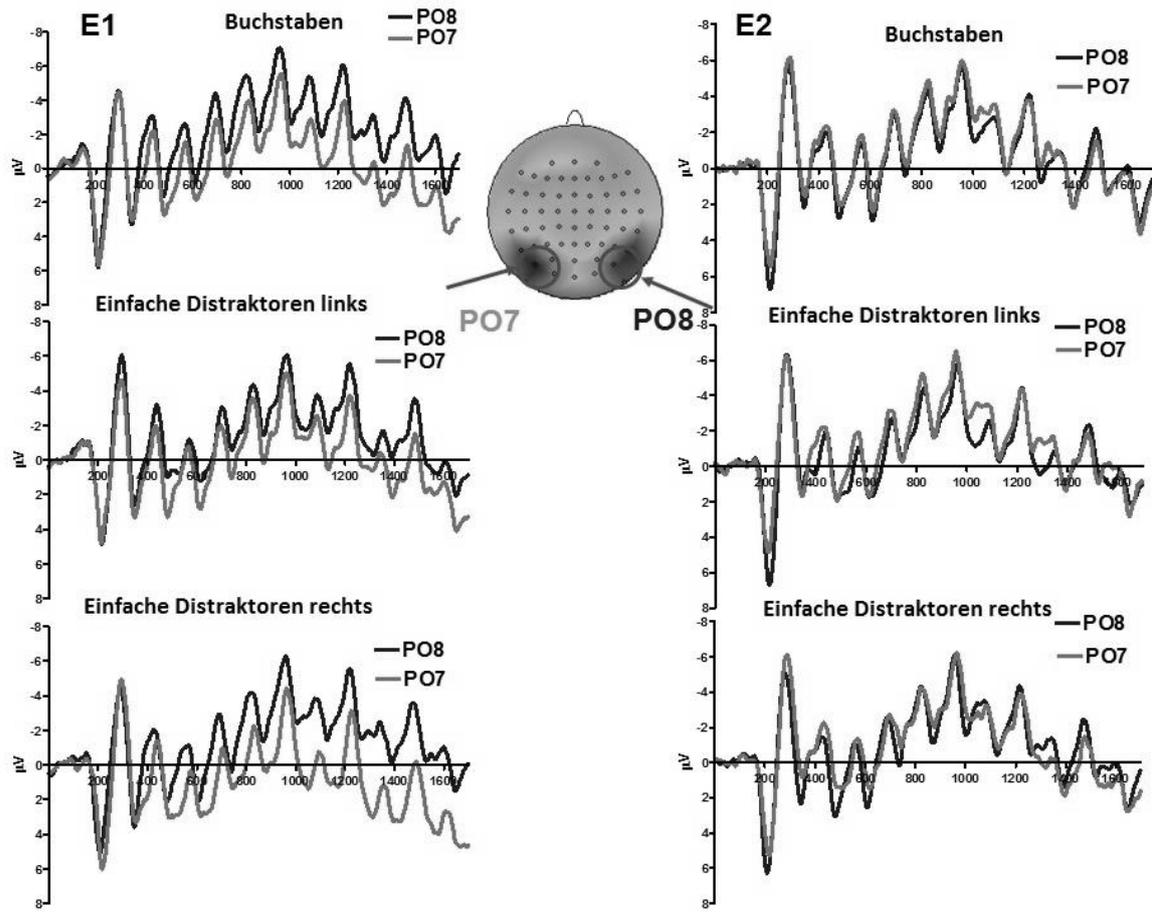


Abbildung 12: Die PO8-Ableitungen sind als blaue Linien und die PO7-Ableitungen als grüne Linien dargestellt. In der linken Spalte sind die Ergebnisse des Experiments 1 für die drei Bedingungen (Buchstaben als Distraktoren, einfache Distraktoren links, einfache Distraktoren rechts) gezeigt. In der rechten Spalte sind die Ergebnisse für die drei Bedingungen in Experiment 2 gezeigt. Die schematische Darstellung eines von oben gesehenen Kopfes in der Abbildung gibt die Positionen des PO7 und PO8 an.

5.2.2 T1-evozierte Potentiale

Zunächst werden die Daten der Ableitungen für die verschiedenen Bedingungen vor der Subtraktion dargestellt. Es handelt sich hierbei um die Ableitungen von PO7 und PO8. Diese Daten entsprechen dem Abschnitt der Abbildung 12, in dem der T1 vorkam.

In Abbildung 13 sind die Daten für die Bedingung dargestellt, dass ausschließlich Buchstaben als Distraktoren dienen.

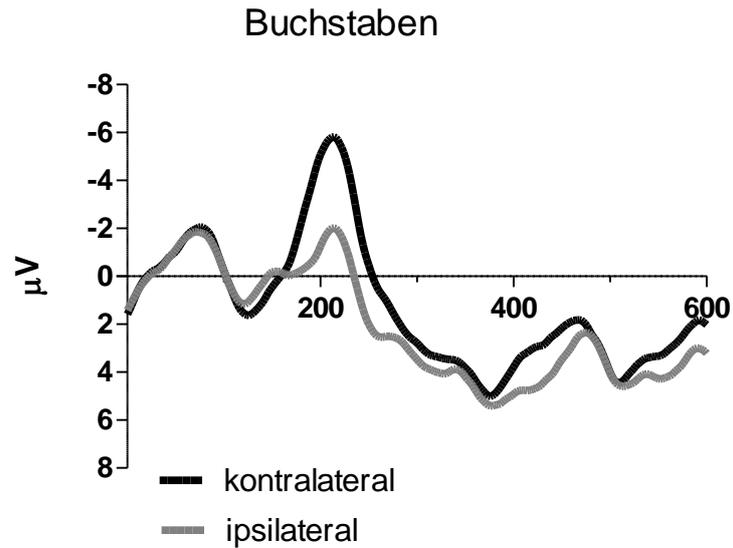


Abbildung 13: Die Graphik zeigt die „grand means“ der kontralateralen und ipsilateralen Ausschläge im EEG bei T1-Erkennung mit Buchstaben als Distraktoren an, gemittelt über die beiden Experimente. Es liegen die noch nicht subtrahierten Daten vor:

In der Abbildung 14 sind die Daten für die Bedingung dargestellt, dass die einfachen Distraktoren nicht im selben Reizstrom wie T1 vorkamen.

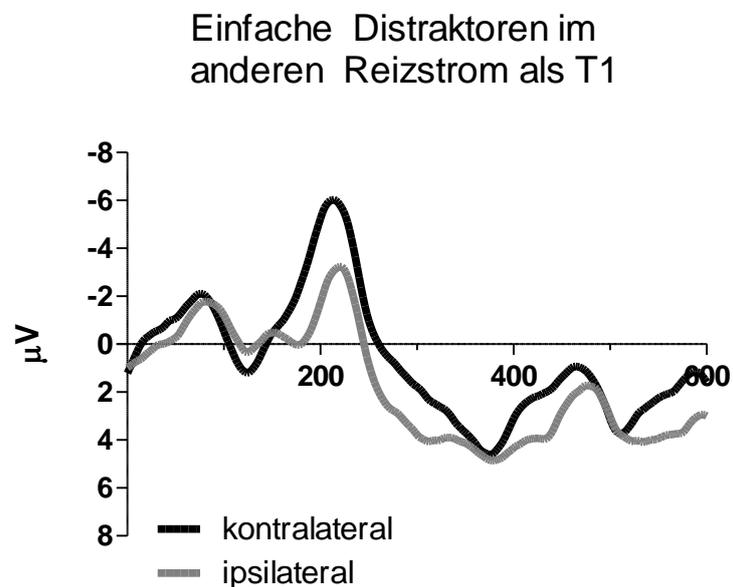


Abbildung 14: Die Graphik zeigt die „grand means“ der kontralateralen und ipsilateralen Ausschläge im EEG bei T1-Erkennung mit einfachen Distraktoren im anderen Reizstrom als T1 an, gemittelt über die beiden Experimente. Es liegen die noch nicht subtrahierten Daten vor.

Die Abbildung 15 zeigt die Daten für die Bedingung, dass die einfachen Distraktoren im selben Reizstrom wie T1 waren.

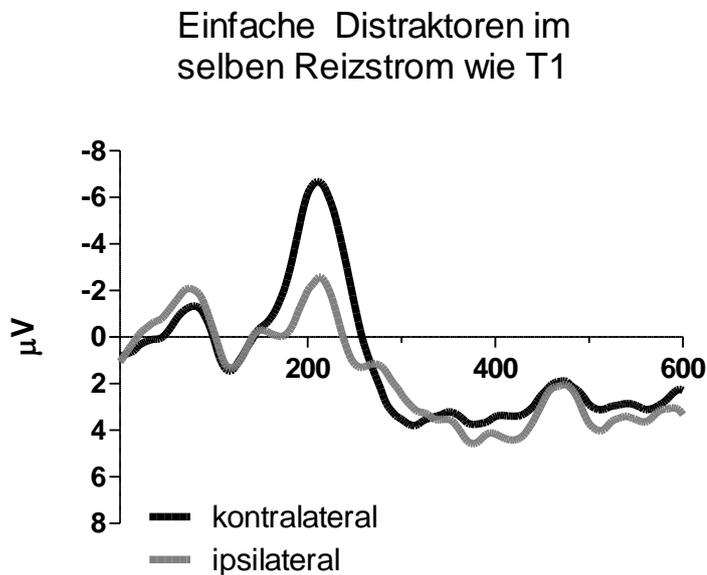


Abbildung 15: Die Graphik zeigt die „grand means“ der kontralateralen und ipsilateralen Ausschläge im EEG bei T1-Erkennung mit einfachen Distraktoren im selben Reizstrom wie T1 an, gemittelt über die beiden Experimente. Es liegen die noch nicht subtrahierten Daten vor.

N2pc

Ergebnisse für Buchstabendistraktoren

Die Differenz T1-kontralateral minus T1-ipsilateral der Kurven aus Abbildung 13 ist in Abbildung 16 dargestellt.

Die ANOVA wurden mit den Messwiederholungsfaktoren Hemisphäre (links, rechts) und dem Gruppenfaktor Experiment durchgeführt.

Die Amplitude der N2pc-Komponente war größer bei PO7 als bei PO8 (PO8 vs. PO7: $F_{1,28} = 5,0$; $p = 0,03$).

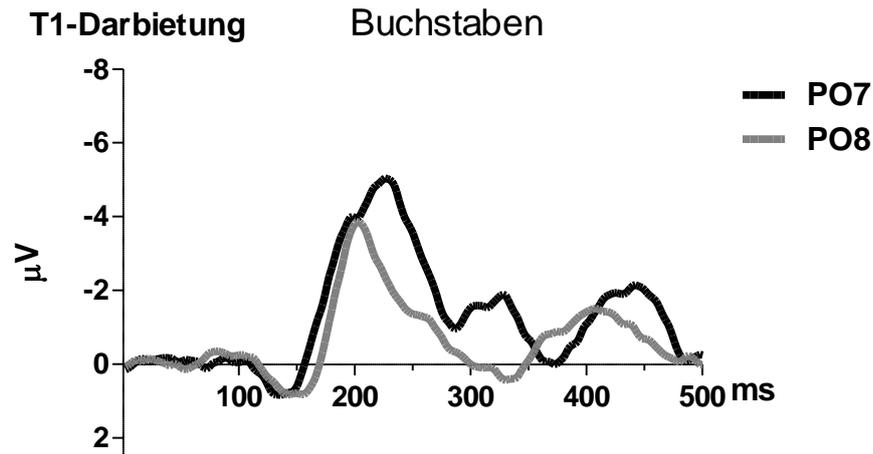


Abbildung 16: Die Abbildung stellt die N2pc-Komponente getrennt für linke (PO7) und rechte (PO8) Hemisphäre dar. Hierbei handelt es sich um die kontralateral-ipsilateral Differenz der Kurven aus Abbildung 13, die hier getrennt für links und rechts dargestellt ist. Die Daten sind über beide Experimente gemittelt dargestellt. Es ist sichtbar, dass die schwarze Kurve (PO7) eine höhere Amplitude als die graue Kurve (PO8) erreicht.

Unterschiede zwischen einfachen und Buchstabendistraktoren

In Abbildung 17 sind die kontralateral-ipsilateral-Differenzen von den einfachen und Buchstabendistraktoren zusammen in einer Grafik dargestellt (gemittelt über PO7 und PO8).

Zunächst wurden die Differenzen von den einfachen Distraktoren - und Standardbedingungen gebildet und anschließend die Varianzanalysen über die Ergebnisse dieser Differenzen erstellt.

Die Varianzanalyse wurde mit den Messwiederholungsfaktoren T1-Seite (links, rechts), der Seite der einfachen Distraktoren (dieselbe wie T1, andere als T1) und dem Gruppenfaktor um welches Experiment es sich handelt (Experiment 1, Experiment 2) durchgeführt.

Die Darbietung der einfachen Distraktoren auf derselben Seite wie T1 führte zu größerer Differenz von der Standardbedingung als wenn die Distraktoren auf der anderen Seite waren (einfache Distraktoren: $F_{1, 28} = 15,9$; $p < 0,001$; konstanter Term der ANOVA für einfache Symbole im selben Reizstrom wie T1: $F_{1, 28} = 9,1$; $p = 0,005$).

Die N2pc-Amplitude war geringfügig kleiner als die Standardbedingung, wenn T1 im anderen Reizstrom als die einfachen Distraktoren präsentiert wurde (konstanter Term der ANOVA für einfache Symbole im anderen Reizstrom als T1: $F_{1, 28} = 3,3$; $p = 0,08$). Dieser Unterschied blieb allerdings über der Signifikanzgrenze ($\alpha = 0,05$).

T1-Seite hatte keinen Effekt (alle $F_{1, 28} \leq 3,6$; $p \geq 0,07$), d.h. die N2pc-Differenz zwischen einfachen Distraktoren und Standardbedingung hing nicht davon ab, auf welcher Seite der T1 war.

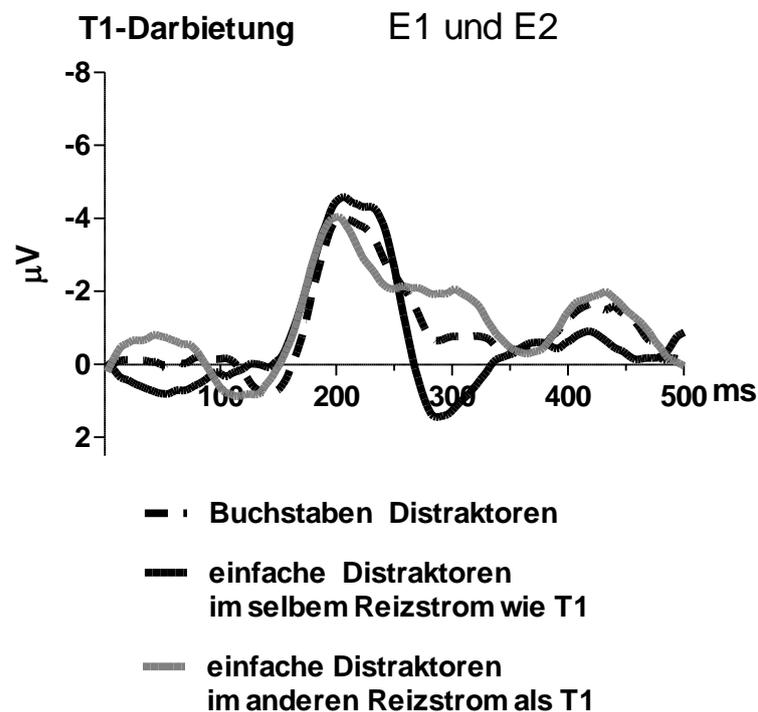


Abbildung 17: Hier ist die N2pc-Komponente für die Bedingungen dargestellt, dass die einfachen Distraktoren im selben oder anderen Reizstrom als T1 waren oder Buchstaben die Distraktoren waren. Die T1-Daten sind über beide Experimente gemittelt dargestellt. Die T1-Daten bei Buchstabendistraktoren sind zusätzlich über die Präsentationsseiten (rechts, links) gemittelt dargestellt. Bei den Daten handelt es sich um die bereits subtrahierten Datensätze (kontralateral-ipsilateral Differenz). Die N2pc-Komponente der schwarzen Kurve (einfache Distraktoren im selben Reizstrom wie T1) erreicht erkennbar eine höhere Amplitude als die anderen Kurven.

5.2.3 T2-evozierte Potentiale

Zunächst werden die Daten der Ableitungen für die verschiedenen Bedingungen vor der Subtraktion dargestellt.

In Abbildung 18 sind die Daten für die Bedingung dargestellt, dass ausschließlich Buchstaben als Distraktoren dienen.

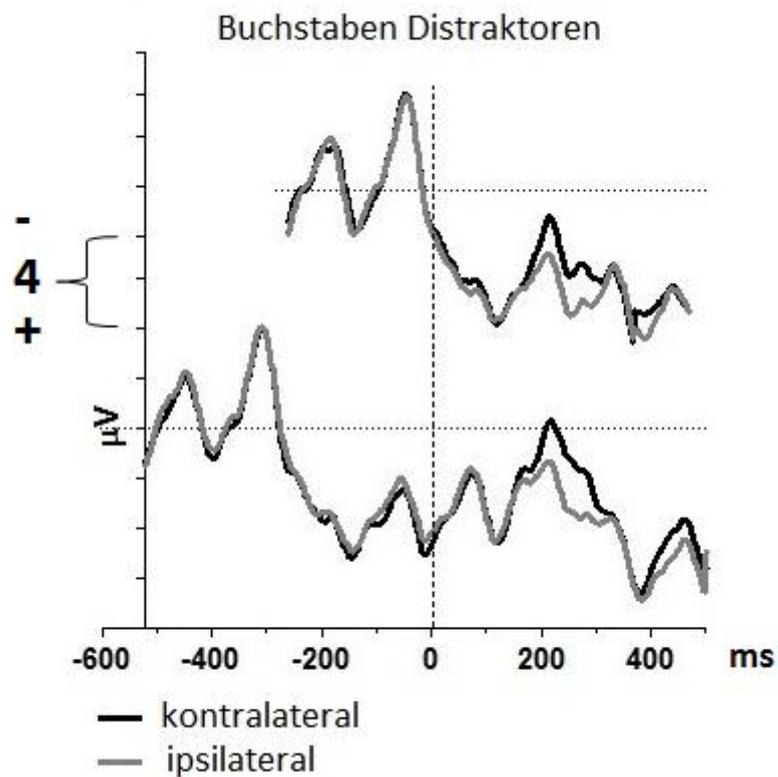


Abbildung 18: Die Graphik zeigt die Daten der kontralateralen und ipsilateralen Ausschläge im EEG bei T2-Erkennung mit Buchstaben als Distraktoren an. Die obere Kurve zeigt die Daten für Verzögerung 2 und die untere für Verzögerung 4. Es liegen die noch nicht subtrahierten Daten vor, die über beide Experimente gemittelt sind. Zeitpunkt 0 ist das Erscheinen des T2.

In der Abbildung 19 sind die Daten für die Bedingung dargestellt, dass die einfachen Distraktoren nicht in demselben Reizstrom wie T2 vorkamen.

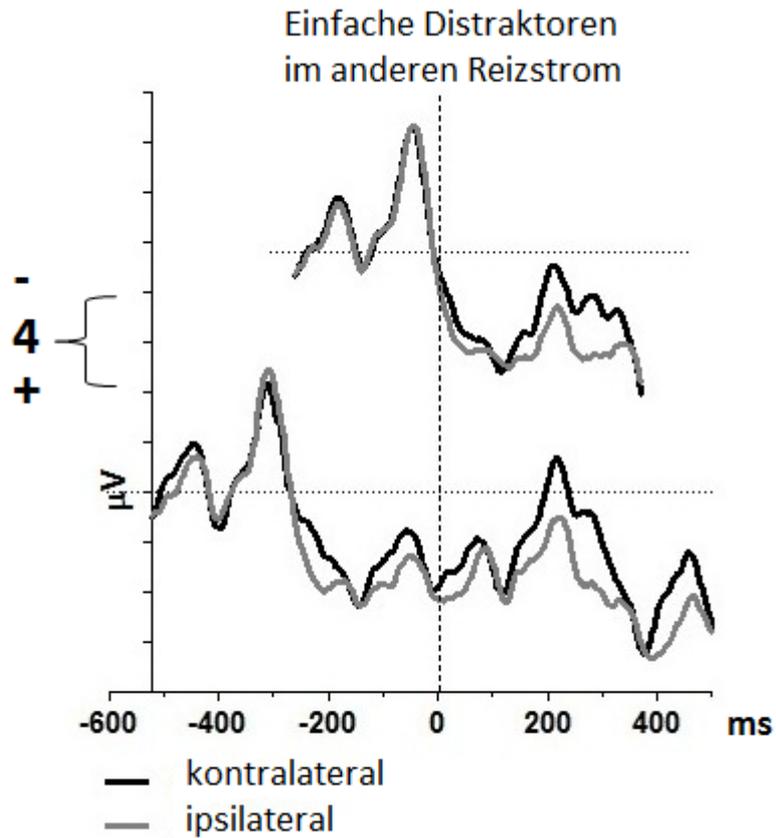


Abbildung 19: Die Graphik zeigt die Daten der kontralateralen und ipsilateralen Ausschläge im EEG für die Bedingung, dass die einfachen Distraktoren nicht in demselben Reizstrom wie T1 präsentiert wurden. Die obere Kurve zeigt die Daten für Verzögerung 2 und die untere für Verzögerung 4. Es liegen die noch nicht subtrahierten Daten vor, die über beide Experimente gemittelt sind. 0 ist das Erscheinen des T2.

Die Abbildung 20 zeigt die Daten für die Bedingung, dass die einfachen Distraktoren im selben Reizstrom wie T2 waren.

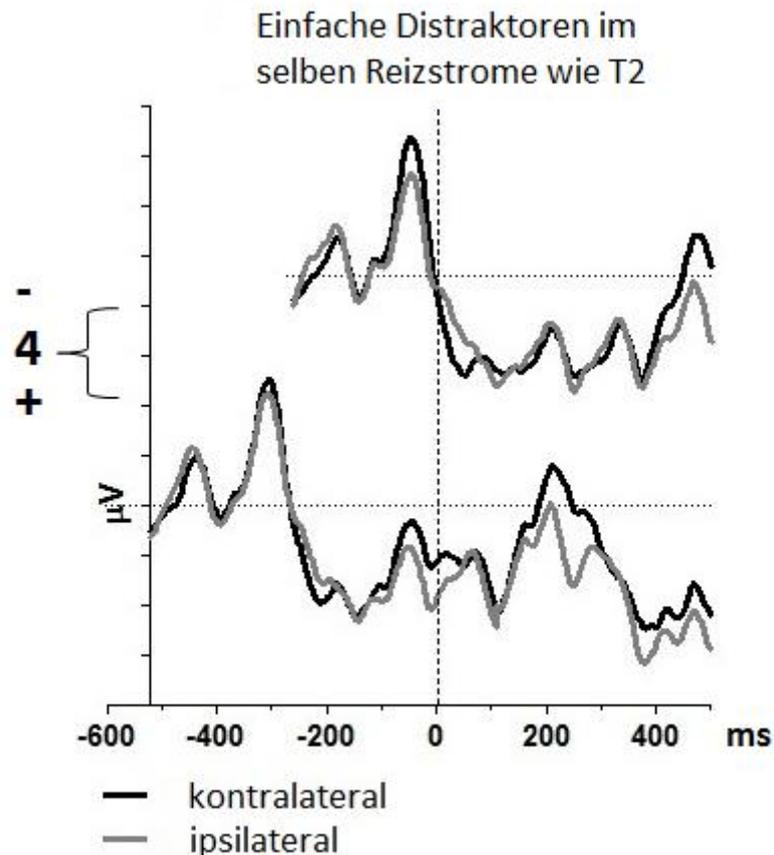


Abbildung 20: Die Graphik zeigt die Daten der kontralateralen und ipsilateralen Ausschläge im EEG für die Bedingung, dass die einfachen Distraktoren im selben Reizstrom wie T2 präsentiert wurden. Die obere Kurve zeigt die Daten für Verzögerung 2 und die untere für Verzögerung 4. Es liegen die noch nicht subtrahierten Daten vor, die über beide Experimente gemittelt sind. 0 ist das Erscheinen des T2.

N2pc

Ergebnisse für Buchstabendistraktoren

Die hier vorgestellte N2pc-Komponente in Abbildung 21 für Buchstabendistraktoren leitet sich aus der Differenz der Kurven in Abbildung 18 ab. Zunächst sind hier die Daten über beide Experimente gemittelt dargestellt. Die Abbildung lässt vermuten, dass die N2pc bei PO7 länger braucht als bei PO8, um sich herauszubilden. Um dies statistisch abzusichern, wurde die mittlere Amplitude in zwei aufeinanderfolgenden 50 ms - Abschnitten gemessen.

Die ANOVA wurden mit den Messwiederholungsfaktoren Hemisphäre (links, rechts), Seite von T1 und T2 (selbe, andere), Zeitabschnitt (220 – 270 ms nach T2, 272 – 320 ms nach T2) und dem Gruppenfaktor Experiment durchgeführt.

Buchstaben E1 und E2

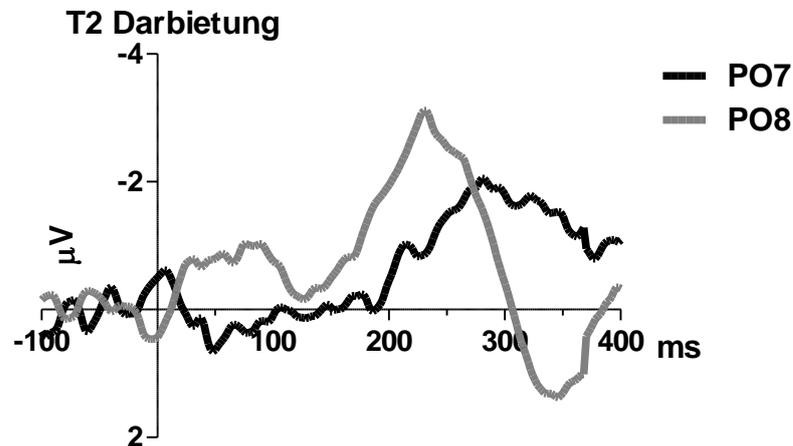


Abbildung 21: Die Abbildung stellt die N2pc-Komponente für die Bedingungen, dass T2 rechts (schwarz) oder links (grau) (mit Buchstaben als Distraktoren) gezeigt wurde, dar. Die Datensätze sind bereits subtrahiert (T1 kontralateral - T1 ipsilateral) und über beide Experimente gemittelt dargestellt.

Da der Effekt, um welchen Zeitabschnitt es sich handelte, unterschiedlich hohe N2pc-Amplituden in den beiden Experimenten evozierte, werden diese hier noch einmal getrennt in Abbildung 22 und 23 dargestellt (Zeitabschnitt: $F_{1, 28} = 7,6$; $p = 0,01$; Zeitabschnitt x Hemisphäre: $F_{1, 28} = 10,9$; $p = 0,003$; Zeitabschnitt x Hemisphäre x Experiment: $F_{1, 28} = 4,8$; $p = 0,04$; Zeitabschnitt x Hemisphäre in E1: $F_{1, 14} = 0,5$; n.s.; Zeitabschnitt x Hemisphäre in E2: $F_{1, 14} = 21,8$; $p < 0,001$).

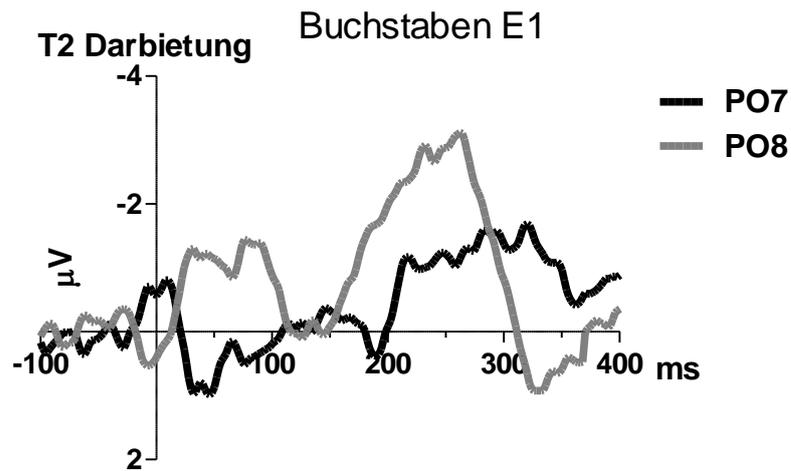


Abbildung 22: Die Abbildung stellt die N2pc-Komponente in Experiment 1 für die Bedingungen, dass T2 rechts (schwarz) oder links (grau) (mit Buchstaben als Distraktoren) gezeigt wurde, dar. Die Datensätze sind bereits subtrahiert.

In Experiment 2 war die N2pc-Amplitude an PO8 größer im Zeitabschnitt von 220 – 270 ms als im Zeitabschnitt von 272 – 320 ms (Effekt des Zeitabschnittes für PO8 in E2: $F_{1, 14} = 13,8$; $p = 0,02$). Die N2pc-Amplitude an PO7 war hingegen größer im Zeitabschnitt von 272 – 320 ms als im Zeitabschnitt von 220 – 270 ms (Effekt des Zeitabschnittes für PO7 in E2: $F_{1, 14} = 8,4$; $p = 0,01$). Das heißt, der Nachweis einer Verzögerung der N2pc bei PO7 gegenüber PO8 konnte für die Daten von Experiment 2 geführt werden, nicht jedoch für Experiment 1.

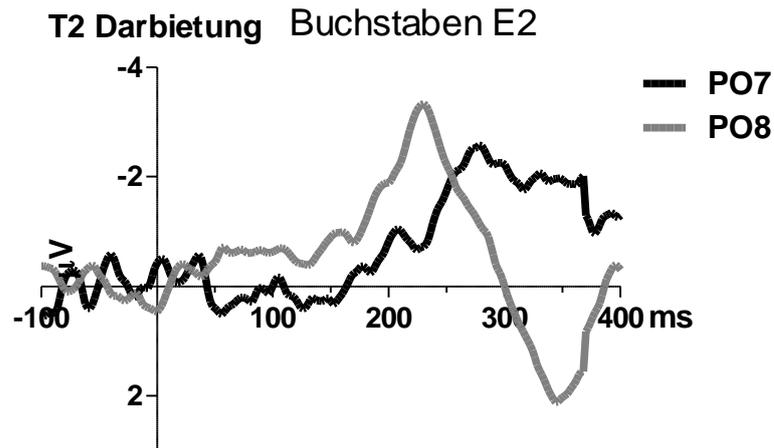


Abbildung 23: Die Abbildung stellt die N2pc-Komponente in Experiment 2 für die Bedingungen, dass T2 rechts (schwarz) oder links (grau) (mit Buchstaben als Distraktoren) gezeigt wurde, dar. Die Datensätze sind bereits subtrahiert.

Zusätzlich war die N2pc-Amplitude größer, wenn T2 und T1 in verschiedenen Reizströmen vorkamen als wenn sie im selben Reizstrom präsentiert wurden (T1 & T2 Seite: $F_{1,28} = 16,6$; $p = 0,001$).

Unterschiede zwischen einfachen und Buchstabendistraktoren

In Abbildung 24 und 25 sind die kontralateral-ipsilateral-Differenzen der T2 Daten für die verschiedenen Bedingungen gezeigt. Die Kurvenverläufe sind in Abbildung 24 für PO7 und in Abbildung 25 für PO8 dargestellt.

In den Kurvenverläufen von Abbildung 24 und 25 wird deutlich, dass die vorausgegangenen Distraktoren zu einer relativ symmetrischen Überlagerung der N2pc-Komponente führen. Aufgrund dieser Überlagerung ist eine valide Varianzanalyse der T2 evozierten N2pc-Komponenten nicht mehr möglich gewesen.

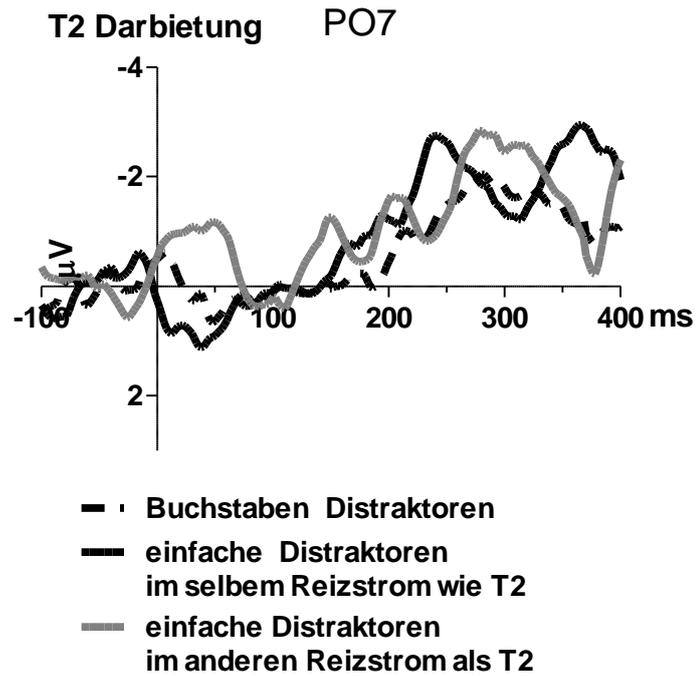


Abbildung 24: Hier sind die Kurvenverläufe der N2pc-Komponente für den Fall dargestellt, dass der T2 rechts war. Die gestrichelte Kurve zeigt den Verlauf, wenn Buchstaben als Distraktoren dienten, die schwarze Kurve, wenn einfache Distraktoren rechts, und die graue, wenn einfache Distraktoren links waren. Die Daten sind hier über beide Experimente gemittelt dargestellt.

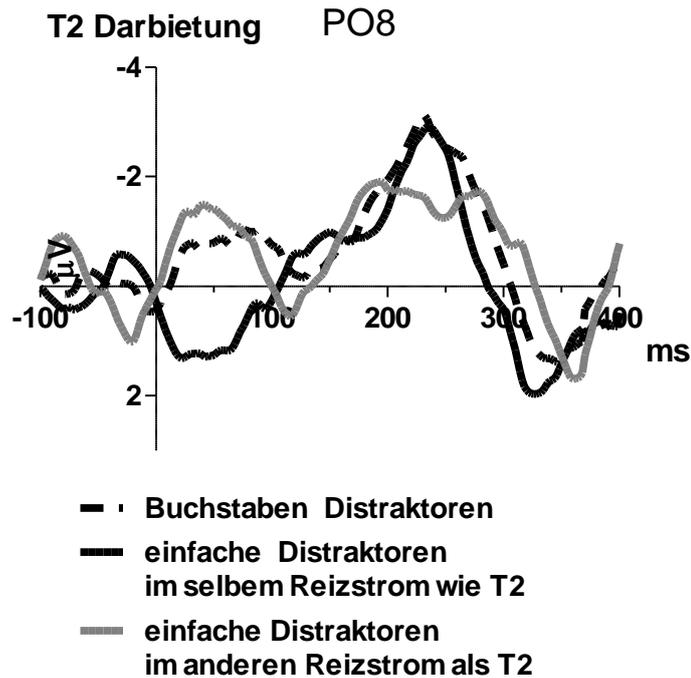


Abbildung 25: Hier sind die Kurvenverläufe der N2pc-Komponente für den Fall dargestellt, dass der T2 links war. Die gestrichelte Linie zeigt den Verlauf, wenn Buchstaben als Distraktoren dienten, die schwarze Linie, wenn einfache Distraktoren rechts, und die graue, wenn einfache Distraktoren links waren. Die Daten sind hier über beide Experimente gemittelt dargestellt.

6. Diskussion

In den zwei beschriebenen Experimenten wurde untersucht, ob es bei der 2-Kanal-RSVP-Aufgabe eine Interaktion bei der Zielreizverarbeitung zwischen den Hemisphären gibt oder ob sie die Reize unabhängig voneinander verarbeiten. Um diese Frage zu beantworten, wurden in einem Reizstrom einfache Distraktoren verwendet, um die Aufgabe für jeweils eine Hemisphäre zu erleichtern. In der Kontrollbedingung für diesen Versuch wurden, wie bereits in vorangegangenen Arbeiten, Buchstaben als Distraktoren gezeigt. Die einfachen Distraktoren hatten den Zweck, die Aufgabe zu erleichtern, und sollten zeigen, ob ihre einseitige Präsentation zu einer Verbesserung der Erkennungsrate im kontralateralen oder auch im ipsilateralen Halbfeld führt. Wenn die einfachen Distraktoren in einem Halbfeld gezeigt wurden, so wurden bessere Ergebnisse bei der Erkennung der Zielreize in der kontralateralen Hemisphäre als isolierte Hemisphärenleistung bewertet. Eine Verbesserung

der Identifikation der Zielreize in der ipsilateralen Hemisphäre hingegen wurde als Hemisphäreninteraktion gewertet.

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass der T1 besser erkannt wird, wenn er in einfachen Distraktoren eingebettet wird. Es kommt ebenso zu einer verbesserten Zielreizerkennung, wenn sowohl der T1 als auch der T2 im selben Reizstrom (links oder rechts) zwischen einfachen Distraktoren gezeigt wurden. Diese Ergebnisse sprechen zunächst dafür, dass die einfachen Distraktoren zu einer besseren Zielreizerkennung führen.

Für die Bedingung, dass der T1 umgeben von einfachen Distraktoren rechts und der T2 links gezeigt wurde, gab es keine Verbesserung der T2-Erkennung. Wurde der T1 jedoch links in einfachen Distraktoren eingebettet, und der T2 rechts gezeigt, so kam es zu einer verbesserten T2-Erkennung.

Diese Ergebnisse sollen in den folgenden Abschnitten genauer und kritisch besprochen werden.

T1-Ergebnisse

Die Erkennung des T1 wurde durch die einfachen Distraktoren im Vergleich zu den Buchstabendistraktoren, verbessert.

In der Standardbedingung erreichte die Zielreizerkennung durchschnittliche Werte von 80 %. Die Zielreizerkennung wurde durch die einfachen Distraktoren bis nahezu 100 % gesteigert.

Dieses Ergebnis zeigt, dass die ausgewählten Symbole durchaus als einfach angesehen werden können. Als mögliche Erklärung für die erhöhte Zielreizerkennung kommt in Frage, dass die einfachen Distraktoren einen geringeren Maskierungseffekt auf die Zielreize ausüben als die Buchstabendistraktoren. Ebenfalls möglich ist es, dass die niedrigeren Interferenzen zwischen Zielreiz und Distraktoren zu einer besseren Erkennung führen. Möglicherweise sind sowohl der Wahrnehmungseffekt (weniger Maskierung) als auch der Aufmerksamkeitsprozess (weniger Interferenzen) an der besseren Zielreizerkennung beteiligt.

T2-Ergebnisse

Wenn der T2 in einfachen Distraktoren eingebettet war, so verbesserte sich die T2-Erkennung in Experiment 1, im Vergleich zu der Standardbedingung, nur wenn er rechts dargeboten wurde. Für Experiment 2 zeigten sich ähnliche Ergebnisse, jedoch waren die T2-Erkennungsraten in Experiment 1 im Allgemeinen größer als in Experiment 2. Es ist zu vermuten, dass die blockweise Variation in Experiment 1 zu einem gewissen Lerneffekt geführt hat, der zu einer besseren T2-Erkennungsrate führte. Der Effekt, dass sich die T2-Erkennung nur für einen rechten T2 verbesserte, könnte sich dadurch erklären lassen, dass die rechte Hemisphäre in dieser Aufgabe ohnehin schon eine sehr hohe Leistung erbringt, die sich nicht mehr steigern lässt („Höchstwerteffekt“ = engl. ceiling-effect). Dafür würden die Ergebnisse von Verleger et al. (2011) sprechen, in denen die Erkennungsrate des im linken Halbfeld dargebotenen T2 mit Buchstaben als Distraktoren bereits sehr hoch war. Die Leistung der linken Hemisphäre könnte hingegen noch nicht den Höchstwert erreicht haben und würde weiterhin von den einfachen Distraktoren profitieren.

Eine Möglichkeit zu untersuchen, ob die rechte Hemisphäre tatsächlich ihren Höchstwert erreicht hat, wäre, die Geschwindigkeit der Reizpräsentation zu erhöhen und somit die Aufgabe insgesamt zu erschweren. Wenn die Aufgabe dadurch erschwert werden sollte, würde es zu insgesamt schlechteren Erkennungsraten führen und ein Unterschied zwischen einfachen und Buchstabendistraktoren würde auch für die rechte Hemisphäre hervorgehoben.

Der in einfachen Distraktoren eingebettete T2 wurde sowohl links als auch rechts besser erkannt, wenn er in einfache Distraktoren eingebettet war und der T1 jeweils auf derselben Seite präsentiert wurde.

Dieser Effekt könnte, ähnlich dem Effekt bei T1, darauf zurückzuführen sein, dass die einfachen Distraktoren die T2-Wahrnehmung durch einen geringeren Maskierungseffekt oder weniger Interferenzen zwischen dem Zielreiz und den Distraktoren vereinfachen. Eine weitere Möglichkeit ist jedoch, dass die T2-Erkennung in Abhängigkeit zur T1-Erkennung steht. Durch die einfachere Verarbeitung des T1-Zielreizes wäre auch die Verarbeitung des T2-Zielreizes erleichtert und der wesentliche Effekt der einfachen Distraktoren würde sich in der T1-Erkennung widerspiegeln.

Wenn die einfachen Distraktoren und der T1 links und der T2 rechts gezeigt wurden, gab es ebenfalls eine Verbesserung in der T2-Erkennung. Es gab jedoch keine Verbesserung in der T2-Erkennung, wenn die einfachen Distraktoren links waren und sowohl der T1 als auch der T2 rechts präsentiert wurden. Ebenso wenig gab es eine Verbesserung der T2-Erkennung, wenn die einfachen Distraktoren und der T1 rechts und der T2 links präsentiert wurden.

Diese Ergebnisse zeigen, dass die Leistung der T2-Erkennung nur im rechten Halbfeld verbessert wurde, wenn gleichzeitig einfache Distraktoren und der T1 im gegenüberliegenden Halbfeld gezeigt wurden. Das Besondere hierbei ist, dass dieser Effekt davon abhängt, dass auch der T1-Zielreiz in den einfachen Distraktoren eingebettet ist.

Unter diesen Bedingungen scheint es, dass eine Hemisphäreninteraktion stattfindet, da sich die T2-Erkennung auch auf der Seite verbessert, die keine einfachen Distraktoren verarbeitet. Hervorzuheben ist, dass diese Interaktion asymmetrisch stattfindet und nur für die linke Hemisphäre vorteilhaft ist.

Von den ursprünglichen Hypothesen ausgehend spricht dieses Ergebnis dafür, dass die rechte Hemisphäre durch die vereinfachte T1-Erkennung weniger beansprucht wird und auch eine geringere Inhibition auf die linke Hemisphäre ausübt. Die verringerte Inhibition zeigt sich in der verbesserten T2-Erkennung der linken Hemisphäre.

Des Weiteren scheint der T1-Zielreiz entscheidend zu sein. Nach dem Gegenseiten-Prozessor-Kontrollsystem von Kinsbourne (1987) ist die gegenseitige Inhibition der Hemisphären proportional zu ihrer Aktivität. Die vereinfachte T1-Erkennung sollte in dieser Aufgabe dementsprechend dazu führen, dass die T1-verarbeitende Hemisphäre eine geringere Inhibition auf die Gegenseite ausübt. Wenn T1 und T2 in demselben Reizstrom gezeigt wurden und die einfachen Distraktoren im anderen, gab es keinen Effekt auf die T2-Erkennung. Dieses Ergebnis stützt die Theorie, dass die Inhibition der Hemisphären nur dann verändert werden kann, wenn eine Hemisphäre durch die Aufgabe, in diesem Fall die T1-Erkennung, in Anspruch genommen wird.

Eine weitere Interpretation dieser Ergebnisse ist, dass ein linker T1 zu einer Verbesserung der T2-Erkennung führt. Dieser Effekt wäre dann unabhängig davon wo der T2 präsentiert wird. Wohingegen der rechte T1 nur zu einer Verbesserung der T2-Erkennung führt, wenn

dieser auch rechts gezeigt wird. Für einen rechten T1, in einfachen Distraktoren eingebettet, und einen linken T2 ist es auch möglich, dass keine weitere Steigerung der Leistung stattfinden kann und auch hier bereits ein „Höchstwerteffekt“ eingetreten ist.

Die Asymmetrie in der Hemisphärenleistung ist von den einfachen Distraktoren in Kombination mit dem T1 abhängig. Dieser Effekt kommt sowohl in der blockweise-abwechselnden-Seiten-Bedingung in Experiment 1 als auch in der zufällig-abwechselnden-Seiten-Bedingung in Experiment 2 vor. Es scheint als wäre dies ein Mechanismus, der grundsätzlich vorhanden ist und nicht etwa durch Adaption an die Aufgabe entsteht.

Die Asymmetrie in diesen Ergebnissen stimmt zum Teil mit den vorher aufgestellten Hypothesen überein. Die rechte Hemisphäre wurde als spezialisiert für die visuelle-räumliche Aufmerksamkeit angenommen und würde somit eine stärkere Inhibition auf die linke ausüben. Durch die Vereinfachung der Aufgabe ist der Effekt der fehlenden Inhibition deutlich sichtbar und die linke Hemisphäre erreicht eine höhere T2-Erkennungsrate. Wie bereits erwähnt, könnte es natürlich auch möglich sein, dass die T2-Erkennung im linken Halbfeld bereits den „Höchstwerteffekt“ erreicht hat und die Inhibition möglicherweise nicht asymmetrisch stattfindet.

Aus diesen Experimenten wird nicht eindeutig klar, ob die verbesserte T2-Erkennung von dem in einfachen Distraktoren eingebetteten T1 abhängt oder ob der T2 besser erkannt wurde, weil er selbst in einfachen Distraktoren eingebettet war. Es wäre daher von Interesse, diese durch die Ergebnisse neu entstandenen Fragen in weiteren Experimenten zu untersuchen.

Wenn die T2-Erkennung grundsätzlich von der T1-Erkennung abhängen sollte, so wäre ein Experiment zur Untersuchung dieses Effekts sehr interessant. Eine aufschlussreiche Bedingung könnte sein, dass die einfachen Distraktoren nach dem Erscheinen des T1 durch Buchstabendistraktoren ersetzt werden und so der T2 immer von Buchstabendistraktoren umgeben wäre. Wenn der Effekt tatsächlich von der Einbettung des T1, in einfache Distraktoren abhängig ist, so sollten diese Bedingungen zu Ergebnissen führen, die den hier präsentierten ähnlich sind. Analog zu diesem Gedanken wäre es sinnvoll, in einer Bedingung die einfachen Distraktoren erst ab dem T1 zu zeigen und somit zu überprüfen, ob die T2-Erkennung in diesem Fall von den einfachen Distraktoren und somit nicht von der vorherigen T1-Erkennung abhängt.

EEG-Ergebnisse

Es gibt bisher nur wenige Studien, die eine Theorie von konkurrierenden Hemisphären im Bereich der visuell-räumlichen Aufmerksamkeit stützen. Scalf et al. (2007) nutzen zum Beispiel eine 4-Kanal-RSVP-Aufgabe, in der die T1- und T2-Verarbeitung auf die Hemisphären aufgeteilt wurde, um den attentional blink zu untersuchen. Sie fanden heraus, dass die T2-Erkennungsrate bei Darbietung des T2 im linken Halbfeld erhöht werden konnte. Wohingegen ein im rechten Halbfeld dargebotener T2, nach vorausgegangenem linken T1, nicht besser erkannt wurde. Scalf et al. gingen davon aus, dass stattfindende Aufmerksamkeitsprozesse verhindern, dass Informationen (Zielreize in diesem Fall) Zugang zum Aufmerksamkeitssystem finden (Scalf et al. 2007). Unter der Voraussetzung, dass das Aufmerksamkeitssystem bereits beschäftigt ist und der Zielreiz schwer von den Distraktoren zu unterscheiden ist, schlussfolgerten sie, dass die linke Hemisphäre schlechter um Aufmerksamkeitsverarbeitung konkurrieren kann. Die Wahrnehmung eines Zielreiz in einem Halbfeld erhöht also die Aktivität der kontralateralen Hemisphäre und diese wiederum inhibiert die gegenüberliegende, so dass verhindert wird, dass diese einen weiteren Zielreiz erkennt. Dieser Mechanismus würde also Interferenzen zwischen stattfindenden Aufmerksamkeitsprozessen und der Aufnahme von neuen Stimuli entgegen wirken.

Ausgehend von diesen Gedankengängen erwarteten wir in den EEG-Ableitungen, dass das Aufmerksamkeitssystem von der Inhibition betroffen sein würde. Die Veränderungen erwarteten wir durch den Vergleich der Standardbedingung mit der einfachen Distraktorenbedingung in der von T1 und T2 hervorgerufenen N2pc-Komponente zu sehen.

T1-evozierte N2pc-Komponente

Die durch T1 evozierte N2pc-Komponente bei Darbietung von einfachen Distraktoren im selben Reizstrom führte zu einer höheren Amplitude als in der Standardbedingung. Diese Veränderung der Amplitude bei Darbietung des T1 zwischen einfachen Distraktoren scheint einer selektiven Aufmerksamkeitsverbesserung bei der T1-Erkennung zu Grunde zu liegen, die durch die leichter von dem Zielreiz abzugrenzenden einfachen Distraktoren entsteht.

Es ist jedoch zu beachten, dass dieser Effekt nur dann besteht, wenn der T1-Zielreiz in den einfachen Distraktoren eingebettet ist.

T2-evozierte N2pc-Komponente

Für die durch T2-evozierte N2pc-Komponente in der Buchstabenbedingung zeigte sich ausschließlich in Experiment 2 eine Verzögerung der N2pc-Komponente der linken gegenüber der rechten Hemisphäre. Dieses Ergebnis könnte für den Vorteil der rechten Hemisphäre bei der Verarbeitung von Zielreizen sprechen.

Die EEG-Kurven der einfachen Distraktorenbedingungen stellten sich als überlagerte Kurven dar. Es ist zu vermuten, dass hier die Darbietung der einfachen Distraktoren zu einer Überlagerung führt und so die statistische Auswertung der Effekte der T2-evozierten N2pc-Komponente nicht möglich macht.

VEPs

Bei der Präsentation der einfachen Distraktoren kam es zu einer Verlangsamung der VEPs. Aufgrund der einfacheren Unterscheidbarkeit der Distraktoren zu den Zielreizen wäre zu erwarten gewesen, dass sie auch zu schnelleren VEPs führen. Die Verhaltensdaten zeigen auf, dass die einfachen Distraktoren die Zielreize geringer maskieren. Ein Grund dafür, dass es zu langsameren VEPs kommt, könnte kulturell bedingt sein. Die Versuchsteilnehmer sind aus ihrem Alltag gewohnt, häufig Buchstaben zu sehen und diese auch unbewusst schnell zu verarbeiten. Die gewählten Sonderzeichen hingegen könnten trotz ihrer Unterschiedlichkeit zu den Buchstabendistraktoren ungewohnt sein, so dass sie mehr Aufmerksamkeit benötigen und somit langsamer verarbeitet werden. Die einfachen Distraktoren lassen sich zwar deutlich von den Zielreizen abgrenzen, sind jedoch nicht einfacher zu verarbeiten.

Zusammenfassung und Beantwortung der Fragestellung

Es gibt verschiedene Modelle und Beweise für die Dominanz der rechten Hemisphäre bei visuell-räumlicher Aufmerksamkeit. Diese Dominanz könnte durch die Aufmerksamkeits-Spezialisierung der rechten Hemisphäre für räumliche Wahrnehmung entstehen. Ebenso ist es möglich, dass sie durch die asymmetrische Inhibition zwischen den Hemisphären oder eine Kombination beider erwähnten Mechanismen zustande kommt. Koch et al. (2011) stellten in ihren Experimenten eine asymmetrische Inhibition zwischen den posterioren Parietalkortizes beider Hemisphären fest, die sie als mögliche Grundlage für die Lateralisation der visuell-räumlichen Aufmerksamkeit deuteten. Tatsächlich sind die, in diesem Fall exzitatorischen, asymmetrischen Verbindungen mehr in der rechten Hemisphäre, sowie von der rechten zur linken Hemisphäre führend, ausgeprägt. Diese Verbindungen werden ebenfalls als Grundlage der Linkslastigkeit bei Aufmerksamkeit angesehen (Siman-Tov et al., 2007; Okon-Singer et al., 2011). Die Balance zwischen den Hemisphären könnte, in Abhängigkeit von der jeweiligen Aufgabenanforderung, sowohl durch die inhibitorischen als auch exzitatorischen Verbindungen gehalten werden.

In den Ergebnissen der beiden Experimente zeigte sich, dass die Inhibition von der rechten zur linken Hemisphäre stärker ausgeprägt war. Dieses Ergebnis würde die Hypothese einer asymmetrischen Hemisphäreninteraktion bei der 2-Kanal-RSVP-Aufgabe unterstützen. Die Ergebnisse lassen sich ebenfalls als Erklärung für den Linksfeldvorteil heranziehen. Das asymmetrische Nachlassen der Inhibition spricht dafür, dass die rechte Hemisphäre normalerweise eine stärkere Inhibition auf die linke ausübt.

Auch die EEG-Ergebnisse unterstützen den Linksfeldvorteil und replizierten ein früheres Erscheinen der T2-evozierten N2pc-Komponente in der rechten als in der linken Hemisphäre (Verleger et al. 2009; 2011) bei der Standardbedingung. Demnach ist die Zielreizerkennung für die rechte einfacher als für die linke Hemisphäre. Einschränkend für dieses Ergebnis ist jedoch, dass dieser Effekt lediglich in Experiment 2 zu beobachten ist. Die Ergebnisse der T1-evozierten N2pc-Komponente hingegen unterschieden sich von vorherigen Ergebnissen (Verleger et al. 2011). In der Standardbedingung war die Amplitude der N2pc-Komponente in der linken Hemisphäre größer als in der rechten. Ein eindeutigerer Effekt ließ sich, analog den T1-Erkennungsraten nachweisen wenn T1 zwischen den einfachen Distraktoren eingebettet war. Es zeigte sich eine größere N2pc-Amplitude, unabhängig von der Seite der Darbietung des T1. Dieses Ergebnis könnte

durch eine höhere N2pc-Komponente bei klar abgrenzbaren Zielreizen (Dowdall et al., 2012) erklärt werden.

Die T2-Erkennung ist in diesen Experimenten offensichtlich von der vorherigen T1-Verarbeitung abhängig. Inwiefern der Effekt der einfachen Distraktoren von der T1-Erkennung abhängig ist, sollte in weiteren modifizierten Experimenten untersucht werden. Auch die Gestaltung einer schwierigeren Aufgabe (schnellere Reizfolge) würde Aufschluss darüber geben, ob die Hemisphäreninteraktion tatsächlich asymmetrisch ist oder ein Höchstwerteffekt für die Leistung der rechten Hemisphäre erreicht worden ist.

7. Zusammenfassung

In der 2-Kanal-RSVP-Aufgabe (RSVP = engl. Rapid Serial Visual Presentation = schnelle aufeinanderfolgende visuelle Darbietung) werden dem Versuchsteilnehmer links und rechts eines Fixationskreuzes schnell wechselnde visuelle Reize präsentiert. Zwischen Maskierungsreizen (Distraktoren) werden zwei in unterschiedlichen Abständen aufeinanderfolgende Zielreize (T1 und T2) präsentiert, die von der Versuchsperson erkannt werden sollen. Bei dieser Aufgabe wird der zweite Zielreiz (T2) schlechter im rechten als im linken Halbfeld identifiziert. Diese Asymmetrie könnte unterschiedliche Fähigkeiten der beiden Hemisphären in der T2-Verarbeitung sowie eine unausgeglichene gegenseitige Inhibition zwischen den Hemisphären widerspiegeln. Um zu überprüfen, ob es diese interhemisphärischen Wechselwirkungen gibt, ersetzen wir die üblichen Distraktoren (Buchstaben) in einem der beiden Reizströme durch eine begrenzte Anzahl von Sonderzeichen. Die Sonderzeichen sollten besser von den Zielreizen abzugrenzen sein und die Aufgabe so erleichtern. Sollten die einfachen Distraktoren tatsächlich leichter sein und es eine Interaktion der Hemisphären geben, so würde sich die Identifizierung der Zielreize nicht nur in der Hemisphäre kontralateral zu den einfachen Symbolen, sondern auch in der Hemisphäre ipsilateral zu den einfachen Symbolen verbessern. Denn da die Aufgabe so für die kontralaterale Hemisphäre einfacher wäre, würde diese keine Inhibition mehr auf die ipsilaterale Hemisphäre ausüben. In diesen Experimenten wurden 30 gesunde Versuchsteilnehmer auf ihre Leistungen in der 2-Kanal-RSVP –Aufgabe untersucht. Es wurden mithilfe von EEG-Ableitungen die Ereigniskorrelierten Potentiale gemessen. Von besonderem Interesse waren die durch T1 und T2 hervorgerufene N2pc-Komponente sowie die visuell evozierten Potentiale. Des Weiteren wurden die Verhaltensdaten gemessen und ausgewertet.

In den Experimenten zeigte sich, dass der Effekt der einfachen Distraktoren bei dieser Aufgabe asymmetrisch war. Die Leistung der T2-Erkennung wurde nur im rechten Halbfeld verbessert, wenn gleichzeitig einfache Distraktoren und der T1 im gegenüberliegenden Halbfeld gezeigt wurden. Dieser Effekt scheint davon abzuhängen, dass auch der T1-Zielreiz in den einfachen Distraktoren eingebettet ist. Die VEPs (Visuell evozierten Potentiale) wurden durch die einfachen Distraktoren verlangsamt. Die N2pc-Komponente hatte eine höhere Amplitude wenn T1 in einfachen Distraktoren eingebettet war und erschien früher in der Buchstabenbedingung in Experiment 2 für T2. Die

Ergebnisse dieser beiden Experimente scheinen dafür zu sprechen, dass es eine asymmetrische Hemisphäreninteraktion bei dieser Aufgabe gibt, jedoch benötigt es weitere Experimente um den genauen Mechanismus zu untersuchen.

Literaturverzeichnis

1. Akyürek EG, Leszczynski M, Schubo A. 2010. The temporal locus of the interaction between working memory consolidation and the attentional blink. *Psychophysiology* 47:1134-41
2. Banich MTB, A. 1990. Interhemispheric Interaction: How Do The Hemispheres Divide and Conquer A Task? *Cortex* 26:77-94
3. Behrmann M, Tipper SP. 1999. Attention accesses multiple reference frames: evidence from visual neglect. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance* 25:83-101
4. Boles DB. 1987. Reaction time asymmetry through bilateral versus unilateral stimulus presentation. *Brain and cognition* 6:321-33
5. Boles DB. 1990. What bilateral displays do. *Brain and cognition* 12:205-28
6. Celesia GG, Brigell MG, Vaphiades MS. 1997. Hemianopic anosognosia. *Neurology* 49:88-97
7. Corbetta M, Kincade JM, Ollinger JM, McAvoy MP, Shulman GL. 2000. Voluntary orienting is dissociated from target detection in human posterior parietal cortex. *Nature neuroscience* 3:292-7
8. Corbetta M, Miezin FM, Shulman GL, Petersen SE. 1993. A PET study of visuospatial attention. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience* 13:1202-26
9. Dell'Acqua R, Sessa P, Jolicoeur P, Robitaille N. 2006. Spatial attention freezes during the attention blink. *Psychophysiology* 43:394-400
10. Di Lollo V, Kawahara J, Shahab Ghorashi SM, Enns JT. 2005. The attentional blink: resource depletion or temporary loss of control? *Psychological research* 69:191-200
11. Dowdall JR, Luczak A, Tata MS. 2012. Temporal variability of the N2pc during efficient and inefficient visual search. *Neuropsychologia* 50:2442-53

12. Driver J, Vuilleumier P. 2001. Perceptual awareness and its loss in unilateral neglect and extinction. *Cognition* 79:39-88
13. Eimer M. 1996. The N2pc component as an indicator of attentional selectivity. *Electroencephalography and clinical neurophysiology* 99:225-34
14. Evert DL, Oscar-Berman M. 2001. Selective attentional processing and the right hemisphere: effects of aging and alcoholism. *Neuropsychology* 15:452-61
15. Grosbras MH, Paus T. 2002. Transcranial magnetic stimulation of the human frontal eye field: effects on visual perception and attention. *Journal of cognitive neuroscience* 14:1109-20
16. Heilman KM. 1995. Attentional asymmetries. pp 217-233. Cambridge: MIT Press
17. Hellige JB. 1983. Feature similarity and laterality effects in visual masking. *Neuropsychologia* 21:633-9
18. Hellige JB. 1990. Hemispheric asymmetry. *Annual review of psychology* 41:55-80
19. Hellige JB. 1993. Unity of thought and action: varieties of interaction between the left and right cerebral hemispheres. *Current Directions in Psychological Science* 2:21-5
20. Hellige JB, Webster R. 1979. Right hemisphere superiority for initial stages of letter processing. *Neuropsychologia* 17:653-60
21. Hickey C, Di Lollo V, McDonald JJ. 2009. Electrophysiological indices of target and distractor processing in visual search. *Journal of cognitive neuroscience* 21:760-75
22. Hollander A, Corballis MC, Hamm JP. 2005. Visual-field asymmetry in dual-stream RSVP. *Neuropsychologia* 43:35-40
23. Hollander A, Hausmann M, Hamm JP, Corballis MC. 2005. Sex hormonal modulation of hemispheric asymmetries in the attentional blink. *Journal of the International Neuropsychological Society : JINS* 11:263-72
24. Kerkhoff G. 2001. Spatial hemineglect in humans. *Progress in neurobiology* 63:1-27

25. Kiesel A, Miller J, Jolicoeur P, Brisson B. 2008. Measurement of ERP latency differences: a comparison of single-participant and jackknife-based scoring methods. *Psychophysiology* 45:250-74
26. Kinsbourne M. 1987. *Mechanisms of unilateral neglect*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers. 69-86 pp.
27. Koch G, Cercignani M, Bonni S, Giacobbe V, Bucchi G, et al. 2011. Asymmetry of parietal interhemispheric connections in humans. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience* 31:8967-75
28. Koivisto M, Revonsuo A. 2003. An ERP study of change detection, change blindness, and visual awareness. *Psychophysiology* 40:423-9
29. Kranczioch C, Debener S, Engel AK. 2003. Event-related potential correlates of the attentional blink phenomenon. *Brain research. Cognitive brain research* 17:177-87
30. Lehar S. 2003. Gestalt isomorphism and the primacy of subjective conscious experience: a Gestalt Bubble model. *The Behavioral and brain sciences* 26:375-408; discussion -43
31. Luck SJ. 2005. *An introduction to the event-related potential technique*. Massachusetts: The MIT Press
32. Luck SJ, Hillyard SA. 1994. Electrophysiological correlates of feature analysis during visual search. *Psychophysiology* 31:291-308
33. Moscovitch M, Klein D. 1980. Material-specific perceptual interference for visual words and faces: implications for models of capacity limitations, attention, and laterality. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance* 6:590-604
34. Naccache L, Blandin E, Dehaene S. 2002. Unconscious masked priming depends on temporal attention. *Psychological science* 13:416-24
35. Nicholls ME. 1996. Temporal processing asymmetries between the cerebral hemispheres: evidence and implications. *Laterality* 1:97-137

36. Nieuwenstein MR, Potter MC. 2006. Temporal limits of selection and memory encoding: A comparison of whole versus partial report in rapid serial visual presentation. *Psychological science* 17:471-5
37. Nobre AC, Sebestyen GN, Gitelman DR, Mesulam MM, Frackowiak RS, Frith CD. 1997. Functional localization of the system for visuospatial attention using positron emission tomography. *Brain : a journal of neurology* 120 (Pt 3):515-33
38. Okon-Singer H, Podlipsky I, Siman-Tov T, Ben-Simon E, Zhdanov A, et al. 2011. Spatio-temporal indications of sub-cortical involvement in leftward bias of spatial attention. *NeuroImage* 54:3010-20
39. Oldfield RC. 1971. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 9:97-113
40. Olivers CNL. 2007. The time course of attention: It is better than we thought. *Current Directions in Psychological Science* 16:11-5
41. Olivers CNL, Meeter M. 2008. A boost and bounce theory of temporal attention. *Psychological review* 115:836-63
42. Olk B, Hartje W. 2001. The bilateral effect: callosal inhibition or intrahemispheric competition? *Brain and cognition* 45:317-24
43. Oostenveld R, Praamstra P. 2001. The five percent electrode system for high-resolution EEG and ERP measurements. *Clinical neurophysiology : official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology* 112:713-9
44. Oostenveld R, Stegeman DF, Praamstra P, van Oosterom A. 2003. Brain symmetry and topographic analysis of lateralized event-related potentials. *Clinical neurophysiology : official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology* 114:1194-202
45. Proverbio AM, Zani A, Gazzaniga MS, Mangun GR. 1994. ERP and RT signs of a rightward bias for spatial orienting in a split-brain patient. *Neuroreport* 5:2457-61

46. Raymond JE, Shapiro KL, Arnell KM. 1992. Temporary suppression of visual processing in an RSVP task: an attentional blink? *Journal of experimental psychology. Human perception and performance* 18:849-60
47. Reuter-Lorenz PA, Kinsbourne M, Moscovitch M. 1990. Hemispheric control of spatial attention. *Brain and cognition* 12:240-66
48. Scaif PE, Banich MT, Kramer AF, Narechania K, Simon CD. 2007. Double take: parallel processing by the cerebral hemispheres reduces attentional blink. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance* 33:298-329
49. Sergent C, Baillet S, Dehaene S. 2005. Timing of the brain events underlying access to consciousness during the attentional blink. *Nature neuroscience* 8:1391-400
50. Shapiro KL, Raymond JE, Arnell KM. 1994. Attention to visual pattern information produces the attentional blink in rapid serial visual presentation. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance* 20:357-71
51. Siman-Tov T, Mendelsohn A, Schonberg T, Avidan G, Podlipsky I, et al. 2007. Bihemispheric leftward bias in a visuospatial attention-related network. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience* 27:11271-8
52. Smigasiewicz K, Shalgi S, Hsieh S, Moller F, Jaffe S, et al. 2010. Left visual-field advantage in the dual-stream RSVP task and reading-direction: a study in three nations. *Neuropsychologia* 48:2852-60
53. Springer PSD, G. 1995. *Linkes-Rechtes Gehirn*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag
54. Squires KC, Hillyard, S.A., & Lindsay, P.H. 1973. Vertex potentials evoked during auditory signal detection: Relation to decision criteria. *Perceptions and Psychophysics* 14:265-72
55. Verleger R, Jaśkowski P., Wascher, E. 2005. Evidence for an integrative role of P3b in linking reaction to perception. *Journal of Psychophysiology* 19:165-81

56. Verleger R, Smigasiewicz K, Moller F. 2011. Mechanisms underlying the left visual-field advantage in the dual stream RSVP task: evidence from N2pc, P3, and distractor-evoked VEPs. *Psychophysiology* 48:1096-106
57. Verleger R, Sprenger A, Gebauer S, Fritzmannova M, Friedrich M, 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* 21:474-88
58. Wascher E, Wauschkuhn B. 1996. The interaction of stimulus- and response-related processes measured by event-related lateralizations of the EEG. *Electroencephalography and clinical neurophysiology* 99:149-62
59. Wey TV, Cook ND, Landis T, Regard M, Graves RE. 1993. Lateralized lexical decisions and the effects of hemifield masks: a study of interhemispheric inhibition and release. *The International journal of neuroscience* 71:37-44
60. Zaidel E. 1989. *Hemispheric Independence and Interaction in Word Recognition*. London,U.K.: MacMillan Press LTD.
61. Zhang D, Zhou X, Martens S. 2009. The impact of negative attentional set upon target processing in RSVP: an ERP study. *Neuropsychologia* 47:2604-14

Anhang

Abkürzungsverzeichnis

EEG	Elektroenzephalogramm
ERP	event related potential = ereigniskorreliertes Potential
hEOG	horizontales Elektrookulogramm
n.s	nicht signifikant
RSVP	Rapid Serial Visual Presentation = schnelle aufeinanderfolgende visuelle Darbietung
T	target = Zielreiz
vEOG	vertikales Elektrookulogramm
VEP	visuell evoziertes Potential
PCCR	Pupil-Center-Corneal-reflection

Ethikantrag



UNIVERSITÄT ZU LÜBECK

Universität zu Lübeck · Ratzeburger Allee 160 · 23538 Lübeck

Herrn
Prof. Dr. R. Verleger
Klinik für Neurologie

im Hause

Zur Vorlage bei der DFG

Ethik-Kommission

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

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

Aktenzeichen: 11-198

Datum: 05. Oktober 2011

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

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

Sehr geehrter Herr Prof. Verleger,

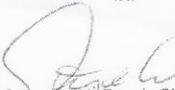
hiermit bestätige ich den Eingang Ihres Antrages an die Ethik-Kommission.

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

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

Für Rückfragen stehe ich gerne zur Verfügung.

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


Prof. Dr. med. Frank Gieseler
Stellv. Vorsitzender

Einwilligungserklärung

UNIVERSITÄTSKLINIKUM Schleswig-Holstein
Campus Lübeck
Klinik für Neurologie
Direktor: Prof. Dr. med. Thomas Münte

Universitätsklinikum S-H, Klinik für Neurologie, Ratzeburger Allee 160 23538 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

Datum: 01.09.2009

Einwilligungserklärung der Studienteilnehmerin/ des Studienteilnehmers

Von Frau/Herrn _____,

geboren am _____.

Herr Julius Weinrich 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

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

Danksagungen

Zum Schluss möchte ich mich noch bei allen Personen bedanken, die mich bei meiner Arbeit unterstützt haben.

Ich bedanke mich bei Prof. Dr. Münte für die Möglichkeit, meine Untersuchungen in der von ihm geleiteten Klinik für Neurologie durchführen zu dürfen.

Ganz ausdrücklich möchte ich mich bei Prof. Dr. Rolf Verleger für die Überlassung des Themas, die wertvollen Anregungen sowie die hervorragende Betreuung und Förderung meiner Arbeit bedanken.

Großer Dank gebührt auch Dr. Kamila Śmigasiewicz für ihre Unterstützung bei der Erhebung und Auswertung der EEG-Daten.

Besonders bedanken möchte ich mich zu guter Letzt bei meinen Eltern, die mich immer unterstützt haben und mir das Medizinstudium überhaupt erst ermöglicht haben.

Lebenslauf

Julius Matthias Weinrich

geboren am 03.11.1986 in Bonn



Schulbildung und Studium

Nov. 2013	Zweite ärztliche Prüfung
Aug. 2012	Praktisches Jahr
Apr. 2012	Freisemester zur Anfertigung der Dissertation
Okt. 2011	Fortsetzung des Studiums der Humanmedizin an der Universität zu Lübeck
Sep. 2010	Fortsetzung des Studiums der Humanmedizin über das Erasmus Programm an der Universität de Barcelona
Sep. 2009	Beginn der Experimentellen Untersuchungen für diese Dissertation
Apr. 2009	Anfang der klinischen Ausbildung an der Universität zu Lübeck
Apr. 2007	Studium der Humanmedizin in Gießen
Jun. 2006	allgemeine Hochschulreife (Friedrich Ebert Gymnasium, Bonn)

Publikationsliste

Die experimentellen Befunde dieser Arbeit sind Bestandteil einer Originalarbeit, eines Posters sowie eines Vortrags.

Der Titel der Arbeit lautet:

Deployment and release of interhemispheric inhibition in dualstream rapid serial visual presentation

Ms. Ref. No.: BIOPSY-D-13-00281R2

In: Biological Psychology

Das Paper wurde am 13.02.2014 angenommen.

Poster veröffentlicht auf dem: *XI International Conference on Cognitive Neuroscience*, Palma de Mallorca, Spanien, 25.-29. September 2011

Vortrag von Dr. Kamila Śmigasiewicz gehalten auf dem Neuronus 20. April 2012, Krakau, Polen.