

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

# Die Hemisphärenasymmetrie bei schneller visueller Reizpräsentation und ihr Ausbleiben

Eine EEG-gestützte Studie

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

vorgelegt von  
Matthias Liebrand  
aus Hamburg

Lübeck 2014

1. Berichtstatter: Prof. Dr. rer. soc. Rolf Verleger
  2. Berichtstatter: Priv.-Doz. Dr. med. Matthias Lüke
- Tag der mündlichen Prüfung: 12.06.2014
- Zum Druck genehmigt. Lübeck, den 12.06.2014

Promotionskommission der Sektion Medizin

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
1.1	Asymmetrie der Hemisphären.....	1
1.2	Visuelle Aufmerksamkeit.....	4
1.3	RSVP-Experimente und der Attentional blink .....	7
1.4	EEG-Korrelate des Attentional blink.....	10
1.5	RSVP-Experimente und Hemisphärenasymmetrie.....	12
1.6	Hypothesen und Fragestellungen.....	14
<b>2</b>	<b>MATERIAL UND METHODEN.....</b>	<b>16</b>
2.1	Experiment 1.....	16
2.1.1	Versuchspersonen.....	16
2.1.2	Versuchsaufbau .....	16
2.1.3	Distraktoren und Zielreize.....	17
2.1.4	Versuchsdurchführung .....	20
2.1.5	Eyetracker .....	22
2.1.6	EEG.....	23
2.1.7	Verarbeitung der EEG-Daten.....	24
2.1.8	Analyse der EEG-Komponenten .....	25
2.1.9	Analyse der Zielreizangaben .....	30
2.1.10	Statistische Analyse.....	31
2.2	Experiment 2.....	32
2.2.1	Versuchspersonen.....	32
2.2.2	Versuchsaufbau .....	32
2.2.3	Distraktoren und Zielreize.....	33
2.2.4	Versuchsdurchführung, Eyetracker, EEG.....	33
2.2.5	Verarbeitung der EEG-Daten.....	34
2.2.6	Analyse der EEG-Komponenten .....	34
2.2.7	Analyse der Zielreizangaben.....	35
2.2.8	Statistische Analyse.....	36
<b>3</b>	<b>ERGEBNISSE.....</b>	<b>37</b>
3.1	Experiment 1.....	37
3.1.1	Identifikation der Zielreize .....	37
3.1.1.1	Identifikation von T2 .....	37
3.1.1.2	Identifikation von T1 .....	40
3.1.2	EEG-Komponenten .....	41
3.1.2.1	N2pc.....	41
3.1.2.1.1	Durch T2 evozierte N2pc .....	41
3.1.2.1.2	Durch T1 evozierte N2pc .....	45

3.1.2.2	P3.....	46
3.1.2.2.1	Durch T2 evozierte P3 .....	46
3.1.2.2.2	Durch T1 evozierte P3 .....	49
3.1.2.3	Visuell Evozierte Potentiale.....	50
3.1.2.4	Topographie der Komponenten aus Experiment 1 .....	51
3.2	Experiment 2.....	52
3.2.1	Identifikation der Zielreize .....	52
3.2.1.1	Identifikation von T2 .....	52
3.2.1.2	Identifikation von T1 .....	55
3.2.2	EEG-Komponenten .....	56
3.2.2.1	N2pc.....	56
3.2.2.1.1	Durch T2 evozierte N2pc .....	56
3.2.2.1.2	Durch T1 evozierte N2pc .....	58
3.2.2.2	P3.....	59
3.2.2.2.1	Durch T2 evozierte P3 .....	59
3.2.2.2.2	Durch T1 evozierte P3 .....	61
3.2.2.3	Visuell Evozierte Potentiale.....	62
3.2.2.4	Topographie der Komponenten aus Experiment 2 .....	63
<b>4</b>	<b>DISKUSSION.....</b>	<b>64</b>
4.1	Identifikation der Zielreize in Experiment 1 .....	64
4.2	Identifikation der Zielreize in Experiment 2 .....	71
4.3	EEG-Komponenten .....	74
<b>5</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>79</b>
<b>6</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>81</b>
<b>7</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>90</b>
7.1	Tabellarische Darstellung der F- und p-Werte des Experimentes 1 .....	90
7.2	Tabellarische Darstellung der F- und p-Werte des Experimentes 2 .....	92
<b>8</b>	<b>DANKSAGUNG .....</b>	<b>94</b>
<b>9</b>	<b>LEBENS LAUF.....</b>	<b>95</b>

# Abkürzungsverzeichnis

ADHS	Aufmerksamkeitsdefizit-Hyperaktivitätsstörung
ANOVA	analysis of variance = Varianzanalyse
AUC	area under the curve = Fläche unter der Kurve
BZ	Buchstabe-Ziffer
EEG	Elektroenzephalogramm
EKP	Ereigniskorreliertes Potential
fMRT	funktionelle Magnetresonanztomographie
hEOG	horizontales Elektrookulogramm
LED	light emitting diode = Leuchtdiode
LVH	linkes visuelles Halbfeld
N2pc	N2 posterior contralateral (EEG-Komponente)
n.s.	nicht signifikant
PCCR	pupil-center-corneal reflection
RSVP	rapid serial visual presentation = schnelle visuelle Reizpräsentation
RVH	rechtes visuelles Halbfeld
s.	siehe
SD	standard deviation = Standardabweichung
SK	Seitigkeit
T1	Erster Zielreiz – T = target = Zielreiz
T2	Zweiter Zielreiz – T = target = Zielreiz
T1-N2pc	Durch T1 evozierte N2pc
T2-N2pc	Durch T2 evozierte N2pc
T1-P3	Durch T1 evozierte P3
T2-P3	Durch T2 evozierte P3
TMS	transkranielle Magnetstimulation
TPJ	temporoparietal junction = temporoparietaler Übergang
vEOG	vertikales Elektrookulogramm
VEP	Visuell Evoziertes Potential
VLVH	Vorteil des linken visuellen Halbfeldes ( <i>s. Seite 12</i> )
vs.	versus
z.B.	zum Beispiel
Z <sub>B</sub>	Zielreiz Buchstaben
Z <sub>Z</sub>	Zielreiz Ziffern

SIC ITAQUE DUO CEREBRA SUNT IN CAPITE CONSTITUTA, UNUM QUOD  
INTELLECTUM DAT, ALIUD QUOD SENSUM PRAEBET, ID EST QUOD IN DEXTRA  
PARTE IACET, AB EO SENTITUR, A SINISTRO VERO INTELLEGITUR.<sup>1</sup>

Dementsprechend gibt es zwei Gehirne im Kopf. Das eine gibt uns unseren Intellekt, das andere ermöglicht die Wahrnehmung. Das bedeutet: Das Gehirn auf der rechten Seite ist das, welches wahrnimmt, während das linke Gehirn dasjenige ist, welches versteht.

*Erste belegte Theorie über die Asymmetrie zwischen beiden Hemisphären.  
Der Autor dieses Textes ist nicht bekannt.*

---

<sup>1</sup> Dieses Zitat entspringt der Abhandlung *De semine* aus dem Brüsseler Kodex und wird auf das Ende des 11. Jahrhunderts bzw. den Anfang des 12. Jahrhunderts datiert. Das Zitat entstammt einer Arbeit von *Gert-Jan C. Lokhorst* [89].

# 1 Einleitung

In dieser Arbeit wird die Leistung der beiden Hemisphären in zwei Experimenten verglichen, bei denen visuelle Reize in schneller Abfolge präsentiert wurden. Dieser Vergleich findet mithilfe zweier Methoden statt. Zum einen wurden mit Hilfe der Elektroenzephalografie (EEG) die Gehirnströme der Versuchspersonen aufgezeichnet. Zum anderen wurde deren Antwortverhalten festgehalten. Die Aufgabe, die sich den Versuchspersonen in den Experimenten stellte, forderte insbesondere deren visuelle Aufmerksamkeit.

In der nun folgenden Einleitung wird daher zuerst auf die Asymmetrien zwischen beiden Hemisphären und danach auf die visuelle Aufmerksamkeit eingegangen. Die visuelle Aufmerksamkeit wird in dieser Arbeit mit der Methodik der *Rapid Serial Visual Presentation* (RSVP) untersucht. Daher wird diese Methodik näher erläutert. Im Zuge dieser Erläuterung werden die Ergebnisse bereits vorhandener Untersuchungen von EEG-Korrelaten in RSVP-Experimenten dargestellt. Anschließend folgt ein Überblick über diejenigen RSVP-Experimente, die bisher auf Asymmetrien zwischen den beiden Hemisphären stießen und diese untersuchten. Die Einleitung schließt mit einer Darstellung der Hypothesen und Fragestellungen der beiden Experimente, die in dieser Arbeit beschrieben werden.

## 1.1 Asymmetrie der Hemisphären

Die älteste bisher bekannte Theorie, die eine Asymmetrie zwischen beiden Hemisphären beschreibt, wurde von einem unbekanntem Autor verfasst und entstammt dem Brüsseler Kodex, der auf das Ende des 11. Jahrhunderts oder den Beginn des 12. Jahrhunderts datiert wird. In diesem Text wird in der rechten Hemisphäre die Wahrnehmung verortet und in der linken der Intellekt [89].

Häufig wird der französische Arzt *Paul Broca* (1824-1880) als derjenige Forscher genannt, welcher erstmals Belege für die Asymmetrie der beiden Hemisphären finden konnte. Allerdings schrieb bereits drei Jahrzehnte vor *Broca* der französische Landarzt *Marc Dax* 1836 über funktionelle Unterschiede zwischen beiden Gehirnhälften. Er hatte beobachtet, dass bei Patienten mit Läsionen der linken Hirnhälfte die Sprachfunktionen eingeschränkt waren. *Dax* starb 1837 und sein Sohn *Gustave* publizierte die Ergebnisse seines Vaters erst

im Jahr 1865. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts waren *Broca* und der deutsche Psychiater und Neurologe *Carl Wernicke* maßgeblich an der Verortung der menschlichen Sprache in der linken Hemisphäre beteiligt. Sie entdeckten zwei Sprachzentren, die später nach ihnen benannt wurden. Dies war eine aufsehenerregende Erkenntnis, da man zu dieser Zeit von einem funktionell und strukturell symmetrischen Aufbau der beiden Hemisphären ausging. Es herrschte die Überzeugung, eine Störung der Harmonie beider Hemisphären würde zu Geisteskrankheit führen [89].

Einen wesentlichen Impuls erfuhr die Erforschung der Unterschiede zwischen beiden Hemisphären in den 1960er Jahren, als *Michael Gazzaniga* und *Roger Sperry* Versuche mit Patienten durchführten, denen das Corpus Callosum, die Verbindung zwischen beiden Hirnhälften, durchtrennt worden war, da sie an schwerer Epilepsie litten [53, 54, 55]. *Sperry* erhielt für seine Forschung an diesen sogenannten Split-Brain-Patienten 1981 den Nobelpreis.

Betrachtet man die Asymmetrien zwischen beiden Hemisphären, so werden in der Literatur einerseits *strukturelle* und andererseits *funktionelle* Unterschiede zwischen beiden Hirnhälften beschrieben.

Die bisher am differenziertesten beschriebene strukturelle Asymmetrie findet sich im Planum temporale, der Gehirnregion, welche den Boden des Sulcus lateralis bildet. In 65 von 100 post mortem untersuchten Gehirnen fanden *Geschwind & Levitsky* in der linken Hemisphäre ein größeres Planum temporale als auf der rechten Seite [57]. In magnetresonanztomografischen Analysen des Planum temporale konnte diese Asymmetrie repliziert werden [8, 42]. Strukturelle Asymmetrien finden sich auch in den Gyri temporales transversi (Heschl-Querwindungen) und in der Sylvischen Furche [134]. Zunehmend können Hemisphärenasymmetrien auch mithilfe neuester Bildgebungstechniken, wie der voxel-based morphometry [34, 96] oder des diffusion tensor imaging [118, 164] dargestellt werden.

Die Forschungsergebnisse über funktionelle Unterschiede zwischen beiden Hemisphären überragen diejenigen über strukturelle Asymmetrien bei weitem.

Da aber keine Gehirnfunktion allein in nur einer Gehirnhälfte lokalisierbar ist [12], ist die Funktionslateralisierung mit gewissen Einschränkungen zu betrachten.

Außerdem kann bei Aplasien oder Läsionen einer Hemisphäre die gegenüberliegende Hirnhälfte zumindest prinzipiell die Aufgaben der Hemisphäre übernehmen, welche die Schädigung erlitten hat oder aplastisch ist. Besonders eindrucksvoll zeigt sich diese

Tatsache bei einem 10-jährigen Mädchen, deren Fall *Muckli, Naumer & Singer* 2009 dokumentierten [109]. Erstaunlicherweise besitzt dieses Mädchen nur eine Gehirnhälfte. Trotzdem zeigt sie eine altersgerechte Entwicklung, kann Radfahren, Rollschuhlaufen und hat ein nahezu vollständiges Gesichtsfeld. Die Forscher vermuten, dass die linke Gehirnhälfte des Mädchens zwischen dem 19. und 49. Tag ihrer Embryonalentwicklung ihre Entwicklung eingestellt hat. In der Folge muss es der rechten Hemisphäre gelungen sein, die Aufgaben der linken vollständig zu übernehmen.

Im Weiteren konnte gezeigt werden, dass wenn die Kapazitäten einer Hemisphäre für die Bearbeitung einer komplexen Aufgabe nicht ausreichen, die korrespondierende Hemisphäre herangezogen wird, um bei der Lösung dieser Aufgabe mitzuarbeiten [7, 11, 163].

Von den zahlreichen einzelnen funktionellen Asymmetrien zwischen den beiden Hemisphären, werden im Folgenden nur die vier bedeutendsten funktionellen Unterschiede zwischen beiden Gehirnhälften dargestellt.

Besonders deutlich tritt die Asymmetrie der beiden Hemisphären in der Funktion der Sprache und in der Händigkeit zutage. Die Sprache ist wesentlich stärker in der linken Hemisphäre repräsentiert. Oben wurde bereits erwähnt, dass die Läsionsstudien von *Broca* und *Wernicke* und die Untersuchungen an Split-Brain-Patienten von *Sperry* und *Gazzaniga* wesentlich zu dieser Erkenntnis beitrugen. Nach einer Studie von *Knecht et al.* mit 326 Versuchspersonen, ist bei etwa 96 % der Rechtshänder und 73 % der Linkshänder die linke die sprachdominante Hemisphäre [80]. Allerdings überwiegt die Leistung der linken Hemisphäre nicht in jedem Aspekt der Sprache. Satzmelodie und Betonung sind zugunsten der rechten Hemisphäre lateralisiert [12]. Auch die Händigkeit zeugt von einer funktionellen Hemisphärenasymmetrie und ist vermutlich derjenige Unterschied zwischen beiden Gehirnhälften, welcher im Alltag am deutlichsten sicht- und spürbar ist.

Die dritte Funktion, in der die beiden Gehirnhälften deutlich differieren, sind visuell-räumliche Fähigkeiten, in der die rechte der linken Hemisphäre überlegen ist. Dies zeigte sich insbesondere in vielfältigen Experimenten mit Split-Brain-Patienten [22, 23, 50].

Der vierte wesentliche Unterschied zwischen beiden Gehirnhälften bezieht sich auf die Methodik, Informationen zu verarbeiten. Während die rechte Hemisphäre Informationen vorrangig auf Analogien prüft und global einordnet, fokussiert die linke Hemisphäre stärker auf Details und verarbeitet Informationen, indem auf zugrundeliegende Kausalitäten geprüft wird [12]. *Levy & Trevarthen* konnten 1976 diese beiden verschiedenen Muster der Informationsverarbeitung in einem Experiment mit Split-Brain Patienten nachweisen [87].

In Experimenten jüngerer Datums wurden neue Erkenntnisse über Hemisphärenasymmetrien bei der Selbsterkennung [151] und der Konstruktion von Kausalität gewonnen [130].

Auf Asymmetrien zwischen beiden Hemisphären in der visuellen Aufmerksamkeit wird im nächsten Kapitel eingegangen.

## 1.2 Visuelle Aufmerksamkeit

Um visuelle Stimuli wahrnehmen und später wiedergeben zu können, wie es in den beiden Experimenten vonnöten war, die in dieser Arbeit vorgestellt werden, ist Aufmerksamkeit unabdingbar. In diesen beiden Experimenten wurden sogenannte *Zielreize* gezeigt. Ein Zielreiz ist derjenige Stimulus, den der Proband im Experiment erkennen und wiedergeben muss. Ohne eine aufmerksame Wahrnehmung würden diese Zielreize von nachfolgenden Reizen überschrieben und die Versuchspersonen könnten sich an die Zielreize nicht erinnern [44].

Aufmerksamkeit kann auf zwei Weisen erzeugt werden. Entweder entsteht sie exogen durch äußere Reize oder endogen, indem die Aufmerksamkeit durch den eigenen Willen auf ein bestimmtes Ziel gerichtet wird [120]. Diese beiden Kontrollsysteme der Aufmerksamkeit sind nicht als zwei getrennte Mechanismen zu betrachten, sondern interagieren miteinander [20].

In dem nun folgenden Beispiel soll veranschaulicht werden, wie sich eine endogen ausgerichtete Aufmerksamkeit auf Wahrnehmungsinhalte auswirken kann.

Es gibt ein bekanntes Video, in dem zwei Basketballmannschaften gezeigt werden. Beide Teams unterscheiden sich durch ihre Hemdfarbe voneinander. Das eine Team trägt weiße Hemden, das andere schwarze. Allerdings spielen die beiden Teams nicht gegeneinander und versuchen wie in einem normalen Basketballspiel den Korb der gegnerischen Mannschaft zu treffen. Jedes der beiden Teams hat einen Basketball, der ausschließlich zu den Mitgliedern der eigenen Mannschaft gepasst wird. Dabei laufen die Mitglieder der zwei Teams wie in einem alltäglichen Basketballspiel durcheinander. Zu Beginn des Videos erscheint die Aufforderung an die Beobachter des Films, die Anzahl der Pässe im weißen Team zu zählen. Während die Beobachter ihre Aufmerksamkeit nun vollständig auf die Mitglieder des weißen Teams und die Anzahl der Pässe in diesem Team richten, entgeht

den meisten, dass ganz offensichtlich eine Person in einem schwarzen Gorillakostüm durch die Szene läuft [139].

In diesem Experiment zeigt sich eine grundlegende Aufgabe der Aufmerksamkeit. In unserem alltäglichen Leben sind wir mit einer Fülle an visuellen Informationen konfrontiert, die unsere Verarbeitungskapazitäten übersteigt [20]. Man denke etwa an den Straßenverkehr oder an ein gut gefülltes Regal im Supermarkt. Aus diesem Grund sind wir gezwungen, die visuellen Informationen, die auf uns einströmen, in relevante und nicht-relevante Informationen zu selektieren. Wie sich in dem oben dargestellten Beispiel zeigt, kann dieser Selektion selbst ein Gorilla zum Opfer fallen.

Verschiedene Theorien wurden in Bezug auf den Zeitpunkt dieser Selektion entwickelt. Die Theorie einer frühen Selektion entwickelte *Broadbent* [15]. Nach dieser Theorie werden visuelle Informationen auf einer sehr frühen Stufe im Verarbeitungsprozess selektiert und bis auf ihre initialen physischen Attribute nicht weiter verarbeitet. Dieser Theorie steht das Modell einer späten Selektion gegenüber. Gemäß diesem Modell wird die Unterscheidung zwischen relevanter und nicht-relevanter Information erst getroffen, nachdem diese Information bereits kategorisiert und semantisch analysiert wurde [29, 37]. Eine mittlere Position zwischen diesen beiden Modellen nimmt die Abschwächungstheorie ein. Folgt man dieser Theorie, werden die für nicht relevant erachteten visuellen Informationen lediglich abgeschwächt, anstatt komplett weiterverarbeitet oder vollständig verworfen zu werden [149].

Schließlich wurde ein Konzept entwickelt, welches die Theorien der frühen und späten Selektion in einem Modell vereinigt. In dieser Theorie findet auf einer frühen Stufe die Selektion der Informationen statt, die aufgrund ihrer zu schnellen zeitlichen Abfolge nicht komplett verarbeitet werden können. Auf einer späten Stufe werden relevante und nicht-relevante Informationen selektiert [19].

Um die räumliche Dimension der visuellen Aufmerksamkeit beschreiben zu können, wurde die Scheinwerfer-Hypothese entworfen [122]. Nach diesem Modell gleicht die Aufmerksamkeit einem Scheinwerfer, der die Effizienz der Erkennung von Ereignissen in seinem Strahl erhöht. Eine beträchtliche Anzahl an Experimenten mit Hinweisreizen, die durch unterschiedlichste Mechanismen auf den späteren Erscheinungsort des tatsächlichen Zielreizes hindeuteten, lieferte Material für die Scheinwerfer-Hypothese [6, 45, 121, 122]. Wie zu erwarten ist, erleichtern Hinweisreize die Identifizierung eines später erscheinenden relevanten Zielreizes [18, 94, 138]. Allerdings vermag diese Hypothese nur einen Teil der

Ausrichtung der Aufmerksamkeit im Raum zu erklären und stößt an ihre Grenzen, wenn es um die Aufmerksamkeitsausrichtung in dreidimensionalen Räumen [5, 35], um Aufgaben mit niedriger Wahrnehmungslast [73, 84, 85] oder um verschiedene Größen der vom Scheinwerfer beleuchteten Areale [46, 47] geht.

Daher wurde die Idee einer objektbasierten Aufmerksamkeit formuliert. Dieses Modell geht davon aus, dass sich die Aufmerksamkeit weniger auf bestimmte Bereiche des Raumes richtet, sondern stärker auf spezielle Objekte fokussiert wird. Die objektbasierte Aufmerksamkeit kann sogar als unabhängig von der Auswahl eines bestimmten Raumbereiches erachtet werden [38, 74, 75]. Sehr entscheidend für die objektbasierte Aufmerksamkeit ist die Tatsache, dass diese durch die Gruppierung der Wahrnehmungsinhalte (*perceptual grouping*) beeinflusst wird [9, 36, 43, 82, 103].

In Studien, die untersuchten, auf welchen neuroanatomischen Strukturen die visuelle Aufmerksamkeit basiert, ließ sich erkennen, dass verschiedene Regionen und hierarchische Stufen des visuellen Systems beteiligt sind. Die visuelle Aufmerksamkeit verändert neuronale Prozesse in den Regionen V1 [14, 51, 107, 144], V4 [59, 90, 104, 107, 108], in der für visuell wahrgenommene Bewegung spezialisierten Region V5 (Middle Temporal) [24, 112, 150] und selbst in dem vom visuellen Kortex sehr weit entfernten frontalen Augenfeld [133]. Im visuellen Kortex scheint die Modulation der Aufmerksamkeit in einer retinotopischen Art und Weise organisiert zu sein [148]. Mittels funktioneller Bildgebung konnten weitere spezialisierte extrastriatale Areale des visuellen Systems identifiziert werden, die durch Aufmerksamkeitsprozesse beeinflusst werden, wie etwa Bereiche, in denen Farben oder Gesichter verarbeitet werden [21, 24, 165]. In den meisten dieser Studien war der Einfluss von Aufmerksamkeitsprozessen in extrastriatalen Arealen größer als im primären Sehzentrum selbst [20].

Verlagern Versuchspersonen ihre Aufmerksamkeit von einem in einen anderen Raumbereich, ist insbesondere der Superiore Parietale Cortex aktiviert. Diese Funktion scheint zugunsten der rechten Hemisphäre lateralisiert zu sein [25, 111].

Diese These der Lateralisation der visuellen Aufmerksamkeit zugunsten der rechten Hirnhälfte wird gestützt durch Untersuchungen von Patienten mit visuellem Neglect. Unter visuellem Neglect (im engeren Sinne Hemineglect) versteht man die Nichtbeachtung einer Raumhälfte bei Patienten, die eine strukturelle Läsion in einer Hirnhälfte erlitten haben [99]. Es wird vermutet, dass dem visuellen Neglect eine Läsion im temporoparietalen Übergang (TPJ) oder in angrenzenden Bereichen des temporalen bzw. parietalen Lappens

zugrunde liegt [60, 101, 106]. Selten können auch Läsionen des inferioren Frontallappens zu visuellem Neglect führen [68, 152]. Eine Hypothese geht davon aus, dass eine der Ursachen des visuellen Neglects sich in einem Aufmerksamkeitsdefizit der Patienten begründet, durch welches diese nicht mehr in der Lage sind, den Fokus ihrer Aufmerksamkeit auf neue visuelle Stimuli zu richten, die in dem der Läsion gegenüberliegenden visuellen Feld erscheinen [30, 49, 105, 123]. Dieses Defizit ist größer, wenn die Läsion in der rechten Hemisphäre lokalisiert ist, als wenn sie in der linken Hemisphäre zu verorten ist [105].

Ein weiterer Hinweis für die beschriebene Lateralisationsspezifität ist die Tatsache, dass Läsionen der rechten Hemisphäre wesentlich öfter zu schwerem und bleibendem Neglect führen, als solche der linken Hemisphäre [13, 147].

### 1.3 RSVP-Experimente und der Attentional blink

Die visuelle Aufmerksamkeit des Menschen ist mit vier Dimensionen konfrontiert. Dies sind zum einen die drei räumlichen Dimensionen und zum anderen die Zeit [41]. Betrachten wir von einem hohen Gipfel aus die Landschaft, treten die räumlichen Dimensionen in den Vordergrund. Die zeitliche Dimension zeigt sich in diesem Falle in weit geringerem Maße. Möglicherweise offenbart sie sich durch sich ändernde Wolkenformationen. Beobachtet man hingegen das olympische Finale des 100-m-Laufs, ist die zeitliche Dimension die weitaus eingängigere.

In den vergangenen 50 Jahren ging man bei der Erforschung der visuellen Aufmerksamkeit vor allem den räumlichen Dimensionen nach [41]. Seit etwa 20 Jahren wird auch der zeitlichen Dimension zunehmend Beachtung geschenkt [137].

Eine Herangehensweise zur Erforschung dieser zeitlichen Dimension sind Experimente, in denen Rapid Serial Visual Presentation (RSVP) eingesetzt wird. Bei der Methodik der RSVP werden auf einem Bildschirm Stimuli präsentiert, die am selben räumlichen Ort rasch aufeinander folgen. Der zeitliche Abstand zwischen den Stimuli beträgt nur einen Bruchteil einer Sekunde (z.B. 100 ms). Die Aufgabe der Versuchspersonen in RSVP-Experimenten besteht darin, entweder sämtliche gezeigten Stimuli wiederzugeben oder nur vorbestimmte Zielreize wiederzugeben und die restlichen Stimuli zu ignorieren [41]. Die Idee, die dem RSVP-Paradigma zugrunde liegt, ist folgende: Dadurch, dass die zeitlichen Verarbeitungsmechanismen der Aufmerksamkeit an ihre Grenzen getrieben werden, kann eingeschätzt werden, mit welcher Geschwindigkeit Informationen analysiert und kodiert werden [20]. Zu ergänzen ist, dass sich mithilfe der Methodik der RSVP ausschließlich die

Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung bei bewussten Verarbeitungsprozessen untersuchen lässt.

Sollen Versuchspersonen nur einen einzelnen Zielreiz in einem Stimulusstrom erkennen, gelingt dies mit einem sehr hohen Prozentsatz. Selbst wenn die im Versuch gezeigten Stimuli mit einer Frequenz von bis zu 16/s aufeinander folgen, erreichen Testpersonen eine Identifikationsquote von 70 % [86].

Ein gänzlich verschiedenes Bild ergibt sich allerdings, wenn nicht nur einer, sondern zwei Zielreize gezeigt werden. *Broadbent & Broadbent* [16], *Raymond et al.* [128] und *Weichselgartner & Sperling* [162] konnten zeigen, dass bei der Präsentation von zwei Zielreizen (T1 und T2, dabei ist T1 der zuerst erscheinende Zielreiz, T2 der darauf folgende) Versuchspersonen ein deutliches Defizit bei der Identifizierung des zweiten Zielreizes T2 aufweisen, wenn dieser mit einer Verzögerung von 200 bis 500 ms auf T1 folgt. *Raymond* prägte für dieses Phänomen den bezeichnenden Terminus *Attentional blink*. Folgt T2 dem vorhergehenden T1 mit einem Abstand von mehr als 500 ms, kommt es zu einer deutlichen Abschwächung des beschriebenen Defizits. Erstaunlicherweise ist das oben beschriebene Phänomen nicht zu beobachten, wenn T2 dem vorhergehenden T1 sehr schnell, innerhalb einer Zeitspanne von 200 ms folgt. Diese Auffälligkeit wird als *lag-1-sparing* bezeichnet [124, 159].

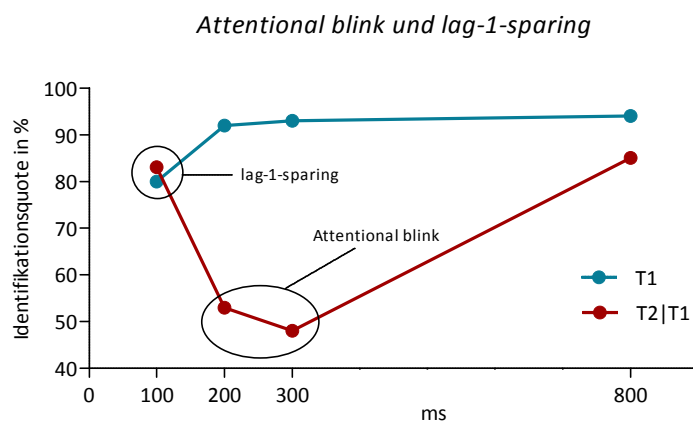


Abbildung 1.1 Schematische Darstellung des Attentional blink und des lag-1-sparing durch die Identifikationsquoten von T1 und T2. Auf der Abszisse ist das zeitliche Intervall zwischen T1 und T2 in ms aufgetragen. Auf der Ordinate ist für T1 die Quote der korrekt identifizierten T1-Reize aufgetragen. Für T2 ist dort die Quote der bei korrektem T1 ebenfalls korrekt identifizierten T2-Reize aufgetragen (T2|1T1). Diese Darstellung wurde modifiziert nach einer Abbildung aus [98].

Zur Erklärung der beiden Phänomene des Attentional blink und des lag-1-sparing wurden zahlreiche Theorien entwickelt, die hier aus Platzgründen nicht näher erläutert werden können. Bisher konnte kein Modell entworfen werden, welches sämtliche Erkenntnisse

erklären kann, die bisherige Experimente zu Tage förderten [41]. Nach den anfänglich vorherrschenden Hypothesen spiegelt der Attentional blink die Konkurrenz verschiedener Zielreize um Aufmerksamkeitskapazitäten wider, da diese limitiert sind. Demnach haben Probanden deshalb Probleme T2 zu identifizieren, weil ihre Aufmerksamkeitsressourcen zum Zeitpunkt des Erscheinens von T2 noch mit Prozessen beschäftigt sind, die der Verarbeitung des zuvor gezeigten T1 dienen. Dabei sind wahrscheinlich mehrere Prozesse wie die Kodierung im Arbeitsgedächtnis, die Antwortauswahl, das Ignorieren nicht relevanter Stimuli, episodische Erfassung und die Steigerung der Aufmerksamkeit beteiligt [41]. Gemäß aktueller Theorien, die als Reaktion auf neue Forschungsergebnisse entwickelt wurden, beruht der Attentional blink nicht auf Leistungsgrenzen des Aufmerksamkeitsapparates, sondern auf Schranken oder Filtermechanismen, die darüber entscheiden, ob Zielreize weiterverarbeitet werden oder nicht [115].

Bezeichnend ist, dass bei Patienten, die einen Neglect aufgrund einer rechtshemisphärischen Schädigung erlitten haben, ein im Vergleich zu gesunden Kontrollprobanden verstärkter Attentional blink zu beobachten ist [70]. Leider wurden in die Studie von *Husain et al.* keine Patienten mit linkshemisphärischen Läsionen eingeschlossen, so dass unklar bleibt, ob diese Verstärkung auf rechtshemisphärische Läsionen beschränkt ist.

Bemerkenswerterweise findet das Phänomen des Attentional blink auch Anwendung in der klinischen Forschung. Es wurde eingesetzt bei der Untersuchung von Aufmerksamkeitsprozessen bei älteren Menschen [56, 83], bei Patienten, die an visuellem Neglect leiden [69, 70], bei Patienten mit Schizophrenie [88], mit Depression [129], sowie bei Menschen mit ADHS [67] und mit Dyslexie [61].

#### 1.4 EEG-Korrelate des Attentional blink

Der Attentional blink spiegelt eine *zeitliche* Einschränkung bei der neuronalen Informationsverarbeitung von visuellen Stimuli wider. Will man dieses Phänomen neurophysiologisch untersuchen, ist daher eine Methode vonnöten, die eine besonders hohe zeitliche Auflösung besitzt. Dies ist die besondere Stärke des EEG. Es liegen die Ergebnisse einiger Experimente vor, bei denen parallel zur Untersuchung des Attentional blink die EEG-Ströme der Versuchspersonen aufgezeichnet wurden [28, 95, 97, 119, 136, 161]. In diesen Experimenten wurden die gleichen EEG-Komponenten untersucht, die auch im Rahmen dieser Arbeit analysiert wurden. Daher werden im Folgenden die Ergebnisse dieser Experimente in zusammengefasster Form vorgestellt.

Untersucht wurden Ereigniskorrelierte Potentiale (EKPs). Ein Ereigniskorreliertes Potential ergibt sich durch die Mittelung vieler EEG-Durchgänge, die einem spezifischen Ereignis zugeordnet sind. Dieses Ereignis ist in diesem Fall ein bestimmter Stimulus (T2). Daraus ergeben sich EEG-Komponenten, die mit spezifischen kognitiven Prozessen assoziiert werden können [98]. Es wurde die Zeitspanne nach dem Erscheinen von T2 und damit die Periode, in der der Attentional blink auftritt, analysiert.

Eine prominente Komponente, die durch den Attentional blink beeinträchtigt wird, ist P3<sup>2</sup>. Bei P3 findet sich eine stark verminderte Ausprägung nach einem T2, welcher in der Periode präsentiert wird, in der sich der Attentional blink zeigt [160, 161]. Wird ein T2, welcher im Zeitraum des Attentional blinks erscheint, von den Versuchspersonen nicht gesehen, so zeigt sich die P3-Komponente nicht [97]. P3 schlägt sich in der Zeitspanne zwischen 300 und 600 ms nach dem Erscheinen eines Reizes im EEG nieder [153] und ist diejenige Komponente, die bisher am häufigsten untersucht wurde [135]. Sie wird typischerweise mit einer Aktualisierung des Arbeitsgedächtnisses assoziiert [32, 33]. Gemäß einer neueren alternativen Hypothese spiegelt P3 einen Prozess wider, der zwischen der Analyse des Wahrgenommenen und der Initiierung einer Antwort vermittelt [155].

Eine zweite Komponente, die sich aufgrund des Attentional blinks verändert, ist N2pc. Erstmals beschrieben von *Luck & Hillyard* [92], zeigt sich die N2pc in der Zeitspanne zwischen 200 bis 350 ms nach der Präsentation eines Zielreizes, welcher zwischen anderen Stimuli dargeboten wird. Die N2pc wird mit der Fokussierung der Aufmerksamkeit auf einen relevanten Zielreiz assoziiert. Die Abkürzung N2pc steht für *N2 posterior contralateral*. Diese Bezeichnung beschreibt die Charakteristika dieser Komponente.

---

<sup>2</sup> Eine alternative Bezeichnung zu P3 ist P300 oder P3b.

Sie findet sich als zweiter negativer Gipfel (*N2*) im EEG und zeigt ihre stärkste Ausprägung auf der dem präsentierten Zielreiz gegenüberliegenden Seite (*contralateral*) am Hinterkopf (*posterior*) [79, 98]. Aus dieser Beschreibung wird deutlich, dass die N2pc sich nur lateralisiert präsentiert. Daher ist es nicht möglich, im Gegensatz zu P3, welche sich zentral über dem Kopf ableiten lässt, N2pc zu messen, wenn den Versuchspersonen nur ein zentraler Stimulusstrom dargeboten wird. Stattdessen müssen zwei Stimulusströme gezeigt werden, die von beiden Hemisphären getrennt verarbeitet werden. Während bei längeren zeitlichen Abständen zwischen T1 und T2 die N2pc nicht beeinflusst wird, schmälert sich ihre Ausprägung bei kürzeren Abständen deutlich. In diesem kürzeren zeitlichen Intervall zwischen T1 und T2 zeigt sich auch, wie oben beschrieben, der Attentional blink. Wenn die Versuchspersonen gebeten werden, T1 zu ignorieren, bleibt die N2pc intakt [28, 71, 72]. Dieses Ergebnis spiegelt elegant die Tatsache, dass der Attentional blink ebenfalls verschwindet, wenn die Versuchspersonen gebeten werden, T1 nicht zu beachten [128]. Diese Ergebnisse lassen eine enge Korrelation zwischen der Komponente N2pc und dem Attentional blink vermuten.

Ein drittes EEG-Korrelat, bei dem sich in Zusammenhang mit dem Attentional blink Auffälligkeiten finden konnten, sind Visuell Evozierte Potentiale (VEPs). VEPs sind Ereigniskorrelierte Potentiale, deren auslösendes Ereignis optische Reize sind. Im Rahmen eines RSVP-Experimentes liefert der oszillierende Stimulusstrom diese optischen Reize. In einer der wenigen Arbeiten, in denen VEPs in RSVP-Experimenten bisher untersucht wurden, analysierten *Keil & Heim* [76] diejenigen VEPs, die dem Erscheinen von T1 folgten. Hier konnten sie zeigen, dass die VEPs eine größere Amplitude in Durchgängen aufwiesen, in denen T2 nicht erkannt wurde, im Vergleich zu Durchgängen, in denen T2 erkannt wurde. Die VEPs wurden in den Experimenten, die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführt wurden, ebenfalls untersucht, da durch sie, im Gegensatz zu den zielreizbezogenen Komponenten N2pc und P3, Aussagen über die allgemeine Verarbeitung von visuellen Stimuli in beiden Gehirnhälften möglich sind. VEPs finden auch klinische Anwendung, etwa diagnostisches Mittel im Rahmen von neurologischen Erkrankungen wie der Multiplen Sklerose,

Bei den Komponenten N2pc, P3 und den VEPs, die in dieser Arbeit analysiert wurden, fokussierten wir auf Asymmetrien der Komponenten zwischen beiden Hemisphären.

## 1.5 RSVP-Experimente und Hemisphärenasymmetrie

Eine Verhaltensasymmetrie in einem RSVP-Experiment konnte erstmals 2005 von *Holländer, Corballis & Hamm* [65] gezeigt werden. In diesem Experiment wurden den Probanden zwei getrennte Stimulusströme dargeboten, von denen einer in deren rechtem visuellen Halbfeld (RVH) und der andere in deren linkem visuellen Halbfeld (LVH) erschien. Auf diese Weise konnte von einer hemisphärengetrennten Verarbeitung der beiden Ströme ausgegangen werden. Als Ergebnis stellte sich heraus, dass die Erkennungsquote des zweiten von zwei Zielreizen (T2) höher war, wenn dieser im LVH präsentiert wurde, als wenn er im RVH erschien. Zur Vereinfachung wird dieser Effekt im Folgenden als *Vorteil des LVH* (VLVH) bezeichnet. Außerdem zeigte sich, dass der Attentional blink bei der Darbietung von Zielreizen im LVH nahezu verschwand, während er sich bei Zielreizen, die im RVH erschienen, deutlich zeigte. Als Interpretation dieser Ergebnisse nannten die Autoren eine Spezialisierung der rechten Hemisphäre für Aufmerksamkeitsprozesse. Der in dieser Arbeit erkannte VLVH und damit der Vorteil der rechten Hemisphäre bei RSVP-Aufgaben konnte in einigen weiteren Arbeiten repliziert werden [4, 66, 131, 132, 142, 154, 156, 157, 158]. In der Arbeit von *Scalf et al.* [132] wurden allerdings nicht zwei, sondern vier getrennte Stimulusströme dargeboten.

In einem Experiment, in dem einzelne Buchstaben präsentiert wurden, denen eine Maske folgte oder voranging, konnte bereits 1979 durch *Hellige & Webster* ein Vorteil bei der Erkennung von Reizen im LVH gezeigt werden [62]. Die Autoren interpretierten dieses Ergebnis als ein besseres Vermögen der rechten Hemisphäre, Ereignisse in einem Zeitverlauf herauszugreifen.

Eine alternative Hypothese, die versucht den VLVH zu erklären, besagt, dass dieser seinen Ursprung in dem Lesehabitus der Links-nach-Rechts Leser findet, die als Probanden an dem ersten Experiment von *Holländer et al.* und an dessen ersten Replikationen teilnahmen.

*Śmigasiewicz et al.* gelang es 2010 im Rahmen einer länderübergreifenden Studie diese Hypothese zu widerlegen [142]. Bei dieser Studie nahmen mit Deutschen (Links-nach-Rechts Leser), Israelis (Rechts-nach-Links Leser) und Taiwanesen (Oben-nach-unten Leser) drei Probandengruppen mit völlig unterschiedlichem Lesehabitus an RSVP-Experimenten mit zwei Stimulusströmen teil. T2 war in den Experimenten in allen 3 Ländern eine schwarze Ziffer. In dem Experiment in Deutschland waren die Distraktoren sowie T1 lateinische Buchstaben. In Israel und Taiwan wurden im Gegensatz zu dem Experiment in Deutschland zwei Blöcke gezeigt. In dem einen Block waren sowohl die Distraktoren wie

auch T1 lateinische Buchstaben. In dem anderen Block entstammten die Distraktoren und T1 jeweils dem landestypischen Alphabet (Hebräisch bzw. Chinesisch). Es zeigte sich ein über alle drei Kulturgruppen stabiler Vorteil bei der Identifizierung des zweiten Zielreizes T2 im LVH. Folgerichtig kann der Lesehabitus höchstwahrscheinlich nicht als Erklärung für den VLVH herhalten.

Eine weitere Hypothese versuchte den VLVH mit systematischen Augenbewegungen der Versuchspersonen in Richtung der linken Seite zu erklären. Diese Hypothese wurde in einer Arbeit von *Verleger et al.* [158] widerlegt (Experiment 3), in der die Augenbewegungen der Probanden kontrolliert wurden. Dies geschah mithilfe eines Eyetrackers, der Infrarotstrahlung nutzte, um die Blickposition der Versuchspersonen feststellen zu können. In derselben Arbeit konnte in einem weiteren Experiment gezeigt werden, dass der VLVH selbst dann nicht verschwindet, wenn es den Probanden durch T1 möglich ist, die Seite des Erscheinens von T2 vorherzusehen (Experiment 2).

Auch ließe sich die bessere Erkennung des T2 im LVH durch die Theorie erklären, dass die rechte Hemisphäre in der Kontrolle der Aufmerksamkeit dominant ist [156]. Diese Dominanz würde sich durch eine Inhibierung der linken Hemisphäre manifestieren [78]. Ein Nachweis dieser Hypothese im Rahmen eines Experimentes, in dem transkranielle Magnetstimulation (TMS) verwendet wurde, gelang nicht [156]. Diese Arbeit favorisiert vielmehr Kapazitätsgrenzen der linken Hemisphäre als Erklärungsmodell für den VLVH.

Schließlich könnte dem VLVH zugrunde liegen, dass die linke Hemisphäre durch die Menge an verbalem Material überladen wird, die man ihr präsentiert. *Asanowicz et al.* konnten in einer Reihe von Experimenten eine Anzahl an Hinweisen finden, die diese Theorie unwahrscheinlich aussehen lassen [4].

Wie oben bereits ausgeführt, ist das EEG die am besten geeignete neurophysiologische Methode, um mit RSVP-Experimenten die Aufmerksamkeit über das Antwortverhalten der Probanden hinaus zu untersuchen. *Verleger et al.* und *Verleger, Śmigasiewicz & Möller* [157, 158] zeichneten ein EEG der Versuchspersonen auf, während diese parallel ein RSVP-Experiment mit zwei Stimulusströmen absolvierten. Bei den Komponenten N2pc und P3 zeigten sich Asymmetrien zwischen den beiden Hemisphären. Diese Differenzen spiegeln den VLVH wider. In der rechten Hemisphäre, in der die visuellen Informationen des LVH verarbeitet werden, zeigte sich eine kürzere Latenz und größere Amplitude sowohl von N2pc wie auch von P3.

Der Vollständigkeit halber muss erwähnt werden, dass zwei Arbeiten existieren, in denen der VLVH in RSVP-Experimenten nicht nachgewiesen werden konnte. Es handelt sich hierbei um die Arbeiten von *Ptito et al.* und *Giesbrecht & Kingstone* [58, 126]. Beide Arbeiten besitzen jedoch nur begrenzte Aussagekraft. Bei dem Experiment von *Ptito et al.* nahmen ein Split-Brain-Patient sowie gesunde Kontrollpersonen teil. Zum einen wies der Split-Brain-Patient, wie die Autoren erwähnen, durch seine zahlreichen epileptischen Anfälle möglicherweise bereits eine pathologische Gehirnstruktur auf. Zum anderen waren die Kontrollpersonen sowohl Rechts- wie auch Linkshänder. In allen Arbeiten, in denen der VLVH bisher gezeigt werden konnte, waren die Probanden jedoch ausschließlich Rechtshänder. In der Arbeit von *Giesbrecht & Kingstone* wurde ebenfalls nur ein Split-Brain-Patient untersucht. Außerdem wurden die Zielreize nur durch einen folgenden Distraktor maskiert. In beiden Arbeiten wurden vier RSVP-Ströme gezeigt, jeweils zwei in jedem visuellen Halbfeld.

## 1.6 Hypothesen und Fragestellungen

In dieser Arbeit soll die Tatsache, dass der zweite von zwei Zielreizen (T2) im linken visuellen Halbfeld besser identifiziert wird als im rechten - also der VLVH - näher untersucht werden. In zwei Experimenten präsentierten wir den Versuchspersonen jeweils zwei Stimulusströme, die jeweils rechts und links eines mittigen Fixationskreuzes erschienen. In diesen Strömen waren zwei Zielreize (T1 und T2) zu identifizieren. Die Darbietung der beiden Stimulusströme erfolgte in Durchgängen, wobei in einem Durchgang klassischerweise ein T1, ein T2, sowie zahlreiche Distraktoren erschienen. Distraktoren sind Reize, die vor und nach den Zielreizen erscheinen, mit dem Ziel diese zu maskieren. Um zusätzliche Erkenntnisse über den VLVH zu gewinnen zeichneten wir in beiden Experimenten ein EEG der Versuchspersonen auf.

### *Experiment 1*

Ziel dieses Experimentes war zu untersuchen, ob der VLVH abhängig von dem verwendeten Reizmaterial ist. In den meisten der bisher durchgeführten Experimente wurde sehr konstantes Stimulusmaterial verwendet. T1 war ein farbiger Buchstabe, T2 eine schwarze Ziffer und die Distraktoren waren schwarze Buchstaben [142, 156, 157, 158]. Wir modifizierten im Vergleich zu diesen Experimenten das Stimulusmaterial und führten zwei Teilerperimente durch, die sich in Bezug auf die Stimuli zueinander spiegelbildlich

verhielten. Während in einem Telexperiment Ziffern als Zielreize und Buchstaben als Distraktoren gezeigt wurden, erschienen in dem anderen Telexperiment Buchstaben als Zielreize und Ziffern als Distraktoren. Sowohl Zielreize wie auch Distraktoren waren schwarz gefärbt. Wir wollten zwei Fragestellungen untersuchen:

1. Wie verhält sich der VLVH, wenn als Zielreize Buchstaben und als Distraktoren Ziffern präsentiert werden?
2. Was geschieht mit dem VLVH, wenn sich weder T1 noch T2 farblich von den Distraktoren unterscheiden, die Herausforderung an die Aufmerksamkeit also größer ist als in vorhergehenden Experimenten?

Sollte der VLVH gänzlich unabhängig von dem gezeigten Stimulusmaterial sein, so müsste sich dieses Phänomen in beiden Telexperimenten in gleicher Stärke zeigen. Wenn aber ein Zusammenhang zwischen den Stimuli und dem VLVH bestünde, so wären möglicherweise Unterschiede der Stärke dieses Phänomens zwischen beiden Telexperimenten feststellbar oder sogar dessen Ausbleiben in einem oder beiden Telexperimenten.

### *Experiment 2*

In dem zweiten Experiment zeigten wir einzelne Durchgänge, in denen nur einer der beiden Zielreize (nur T1 oder nur T2) erschien. Durch diese Art der Zielreizpräsentation war es uns möglich zwei weitere Fragestellungen zu untersuchen.

Erstens konnten wir prüfen, ob der VLVH auch in dem Fall auftritt, wenn nur T2 präsentiert wird oder ob er an das Erscheinen beider Zielreize gebunden ist.

Zweitens konnten wir mithilfe dieser Art der Zielreizpräsentation eine neue Auswertungsmethode durchführen und damit die bisherige Auswertungsmethodik kritisch hinterfragen. Wie im Methodenteil näher dargestellt, wurde in Experiment 1 für die Reduktion von systematisch störenden EEG-Signalen eine definierte Standardmethode verwendet. Wir entwickelten eine alternative Methode für die Komponenten N2pc und P3 (*s. Kapitel 2.2.6*) und prüften diese gegen die Standardmethode. Die zugrundeliegende Hypothese lautet, dass die neu entwickelte Auswertungsmethode störende EEG-Signale wirkungsvoller reduziert als die Standardmethode, welche in Experiment 1 sowie in einem dieser Arbeit vorausgegangenen Experiment [157] verwendet wurde.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Experiment 1

#### 2.1.1 Versuchspersonen

An dem Experiment nahmen 15 Versuchspersonen für einen Stundenlohn von 7 € teil. Alle Probanden<sup>3</sup> unterzeichneten eine Einverständniserklärung und nahmen freiwillig an dem Versuch teil. Von den 15 Versuchsteilnehmern mussten drei von der Datenanalyse ausgeschlossen werden. Bei zwei Teilnehmern geschah dies aufgrund von mit dem EEG beobachteten Augenbewegungen (*s. Kapitel 2.1.7*), der andere Teilnehmer wies eine zu geringe Anzahl an artefaktfreien EEG-Durchgängen auf (*s. Kapitel 2.1.8*). Die verbleibenden 12 Probanden teilten sich in 7 Frauen und 5 Männer und waren zwischen 19 und 28 Jahre ( $\bar{x} = 24$  Jahre) alt. Sie gaben alle an, neurologisch gesund zu sein. Die Versuchsteilnehmer waren in der Mehrzahl Studierende der Universität zu Lübeck (11 Probanden). Außerdem nahm ein Absolvent der Fachhochschule zu Lübeck an dem Versuch teil. Folglich war der höchste Bildungsabschluss der Studenten der Universität zu Lübeck das Abitur, des Absolventen der Fachhochschule zu Lübeck ein Diplom. Nach der Selbstangabe im Edinburgh Handedness Inventory [114] waren alle Probanden Rechtshänder (67 bis 100 Punkte,  $\bar{x} = 86$  Punkte,  $SD^4 = 16$ ). Alle Versuchspersonen hatten eine normale Sehkraft, bei fünf unter ihnen wurde diese mittels einer Brille hergestellt.

#### 2.1.2 Versuchsaufbau

Der Versuch wurde in einem etwa 15 m<sup>2</sup> großen, abgedunkelten Raum durchgeführt. Die Versuchspersonen nahmen auf einem bequemen Sessel mit zwei Armlehnen und einem an dem Sessel befestigten und ausschwenkbaren Tablett Platz (*s. Abbildung 2.3 + 2.4*). Auf dem Tablett wurde die Computertastatur platziert, in die die Versuchspersonen die während des Versuches erkannten Zielreize eingaben. Waren die Zielreize Ziffern (*Teilexperiment Z<sub>Z</sub><sup>5</sup>*), so wurde der erste Zielreiz in den Ziffernteil der Tastatur und der zweite in den Ziffernblock eingegeben. Mussten hingegen Buchstaben als Zielreize eingegeben werden (*Teilexperiment Z<sub>B</sub>*), so sollten erster und zweiter Zielreiz in den Buchstabenteil der

---

<sup>3</sup> In diesem und in folgenden Fällen sollen in der männlichen Form auch die weiblichen Teilnehmerinnen mit eingeschlossen sein.

<sup>4</sup> SD = standard deviation = Standardabweichung.

<sup>5</sup> Z<sub>Z</sub> = Zielreiz Ziffer, Z<sub>B</sub> = Zielreiz Buchstabe – Es wurden zwei Teilexperimente durchgeführt (*s. Kapitel 2.1.3*).

Tastatur eingegeben werden. In diesem Teilexperiment war die Tastatur für die Eingabe des ersten Zielreizes eigens mit Aufklebern präpariert worden. Direkt vor den Versuchspersonen, in 120 cm Entfernung, befand sich ein 17-Zoll Röhrenmonitor, auf dem die Stimuli des Versuches mittels der *Presentation Software 14.5*<sup>6</sup> präsentiert wurden. Der Monitor hatte eine Bildwiederholungsrate von 100 Hz. Unterhalb des Bildschirms befand sich ein Eyetracker (*Eyegaze Analysis System*<sup>7</sup>), der die Augenbewegungen der Probanden aufzeichnete. Auf dem Kopf der Versuchspersonen wurde eine EEG-Haube befestigt, in der die EEG-Elektroden platziert wurden. Auf diese Weise wurde ein EEG der Probanden aufgezeichnet.

### 2.1.3 Distraktoren und Zielreize

Jede Versuchsperson nahm an den beiden Teilexperimenten  $Z_Z$  und  $Z_B$  teil, die sich in Bezug auf Distraktoren und Zielreize unterschieden. Im Folgenden wird die Methodik des *Teilexperimentes*  $Z_Z$  beschrieben. Die sich unterscheidenden Merkmale des *Teilexperimentes*  $Z_B$  werden unten gesondert erläutert. Die Probanden hatten die Aufgabe, zwei auf dem Bildschirm erscheinende Zielreize zu identifizieren, die in einem Strom aus Distraktoren versteckt waren. Der Bildschirmhintergrund war weiß mit einer Bildschirmhelligkeit von  $120 \text{ cd/m}^2$ . Diese Helligkeit wurde mit einem LXcan Leuchtdichtenmessgerät<sup>8</sup> gemessen. In der Mitte des Bildschirms befand sich ein rotes Kreuz ( $24 \text{ cd/m}^2$ ), welches 2,1 mm in Höhe und Breite maß ( $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ ). Die Probanden wurden zu Beginn des Versuches aufgefordert, dieses rote Kreuz in der Zeitspanne mit den Augen zu fixieren, in der die Distraktoren und Zielreize gezeigt wurden. Jeweils rechts und links neben dem roten Kreuz, wurde ein stetig wechselnder Strom von schwarzen Großbuchstaben ( $1 \text{ cd/m}^2$ ) mit einer Frequenz von annähernd 7,7/s präsentiert. Die Entfernung des äußeren Randes der Großbuchstaben vom roten Kreuz betrug 10 mm ( $0,5^\circ$ ). Als Distraktoren wurden 9 Großbuchstaben des Alphabetes verwendet (A, B, C, D, F, G, J, K, L). Die Größe der Stimuli betrug  $8,5 \times 11 \text{ mm}$  ( $0,4^\circ \times 0,5^\circ$ ). Jedes Stimuluspaar wurde für 130 ms gezeigt. Ihm folgte sofort das nächste Stimuluspaar.

---

<sup>6</sup> Hersteller: Neurobehavioral Systems Inc., Albany, Canada.

<sup>7</sup> Hersteller: LC Technologies Inc., Fairfax, USA.

<sup>8</sup> Hersteller: Scanditronix Wellhöfer, Schwarzenbruck, Deutschland.

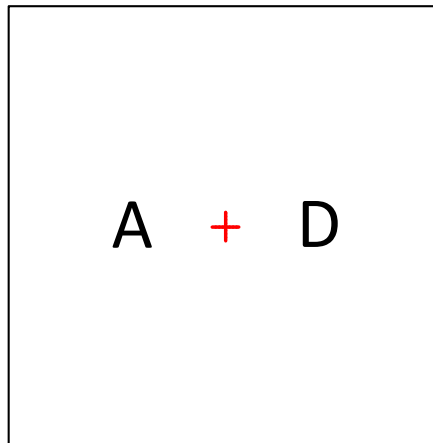


Abbildung 2.1 Schemadarstellung des Bildschirms.

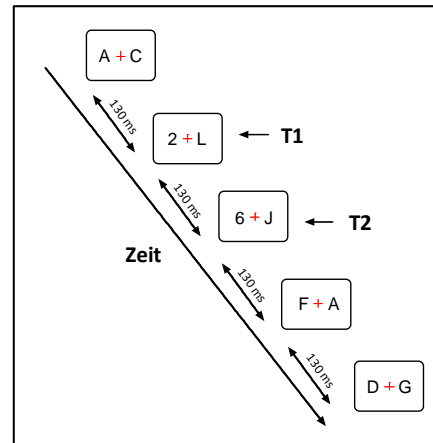


Abbildung 2.2 Schemadarstellung des Teilexperimentes  $Z_2$ .

In diesen beiden Strömen aus Buchstaben wurden insgesamt zwei Ziffern (1, 2, 3, 4, 5, 6) als Zielreize gezeigt, die es für die Probanden zu identifizieren galt. Die Anzahl von 6 unterschiedlichen Zielreizen ergab sich aus zwei gegensätzlich wirkenden Faktoren. Einerseits sollte eine genügend große Menge an Zielreizen zur Verfügung stehen, um die Chance, durch Zufall den Zielreiz richtig zu erraten, möglichst klein zu halten. Andererseits sollte die Zielreizmenge möglichst gering gehalten werden, um deren Eingabe in die Tastatur nicht zu komplex zu gestalten [157].

Der in einem der beiden Ströme zuerst erscheinende Zielreiz (hier die erste Ziffer) wird im Folgenden als T1, der als zweites erscheinende Zielreiz (hier die zweite Ziffer) als T2 bezeichnet. Die Wahrscheinlichkeit, mit der T1 im rechten Buchstabenstrom erschien, war die gleiche, wie jene, mit der er im linken Buchstabenstrom erschien. T1 wurde im Stimulusstrom nach ihm vorausgehenden 5, 7 oder 9 Stimuluspaaren gezeigt. Die unterschiedlichen Zeitpunkte des Erscheinens von T1 wurden gewählt, um die zeitliche Erwartungshaltung möglichst niedrig zu halten [110].

Der dem T1 folgende T2 erschien ebenfalls mit gleicher Wahrscheinlichkeit entweder im rechten oder im linken Buchstabenstrom. In Bezug auf die Zeit, nach der T2 dem T1 folgte, gab es drei Möglichkeiten: T2 konnte T1 sofort folgen (Lag 1 - nach 130 ms) oder 3 Stimuluspaare später (Lag 3 - nach 390 ms) oder 5 Stimuluspaare später (Lag 5 - nach 650 ms) erscheinen. Sowohl T1 als auch T2 wurden von einem schwarzen Buchstaben als Stimuluspartner auf der gegenüberliegenden Seite des roten Kreuzes begleitet.

Damit ergaben sich folgende 12 Kombinationen für die Verteilung von T1 und T2:

	T1 links, T2 links	T1 links, T2 rechts	T1 rechts, T2 links	T1 rechts, T2 rechts
Lag 1	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">3 + F</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">4 + G</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;"> <span>Zeitpunkt: 0 ms</span> <span>Zeitpunkt: 130 ms</span> </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">2 + J</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">G + 6</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;"> <span>Zeitpunkt: 0 ms</span> <span>Zeitpunkt: 130 ms</span> </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">A + 2</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">1 + L</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;"> <span>Zeitpunkt: 0 ms</span> <span>Zeitpunkt: 130 ms</span> </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">F + 3</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">K + 2</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;"> <span>Zeitpunkt: 0 ms</span> <span>Zeitpunkt: 130 ms</span> </div>
Lag 3	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">2 + B</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">1 + A</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;"> <span>Zeitpunkt: 0 ms</span> <span>Zeitpunkt: 390 ms</span> </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">6 + B</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">B + 4</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;"> <span>Zeitpunkt: 0 ms</span> <span>Zeitpunkt: 390 ms</span> </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">G + 4</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">2 + C</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;"> <span>Zeitpunkt: 0 ms</span> <span>Zeitpunkt: 390 ms</span> </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">L + 5</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">B + 4</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;"> <span>Zeitpunkt: 0 ms</span> <span>Zeitpunkt: 390 ms</span> </div>
Lag 5	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">2 + B</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">6 + C</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;"> <span>Zeitpunkt: 0 ms</span> <span>Zeitpunkt: 650 ms</span> </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">5 + D</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">A + 6</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;"> <span>Zeitpunkt: 0 ms</span> <span>Zeitpunkt: 650 ms</span> </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">D + 3</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">1 + J</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;"> <span>Zeitpunkt: 0 ms</span> <span>Zeitpunkt: 650 ms</span> </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">L + 2</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">C + 1</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: small;"> <span>Zeitpunkt: 0 ms</span> <span>Zeitpunkt: 650 ms</span> </div>

Tabelle 2.1 Beispiel der 12 verschiedenen Kombinationen von T1 und T2 (Teilexperiment Z<sub>2</sub>).

Diese 12 verschiedenen Kombinationen wurden im Experiment jeweils 60-mal präsentiert. Daraus ergaben sich 720 Durchgänge. Bei jedem einzelnen Durchgang waren die Werte von T1 und T2, in diesem Teilexperiment also die Ziffern von 1 bis 6, zufällig. Beide Zielreize konnten identisch sein.

Ein Durchgang begann mit dem Erscheinen des roten Kreuzes. Nach einem Zeitintervall von 800 ms nach dem Auftauchen des roten Kreuzes begannen die Stimulusströme. Während eines Durchganges wurden 12 bis 20 Stimuluspaare gezeigt, wobei vor T1 mindestens 5 Stimuluspaare gezeigt wurden und auf T2 immer 5 weitere Stimuluspaare folgten. In zweien dieser Stimuluspaare waren die Zielreize T1 und T2 enthalten.

Sofort nach dem Ende des Stimulusstroms erschien auf dem Bildschirm die Aufforderung an die Versuchsperson, nun die Werte von T1 und T2 in die vor ihr stehende Tastatur einzugeben. Für den Fall, dass die Versuchsperson glaubte, einen der beiden oder sogar beide Reize nicht erkannt zu haben, erhielt sie die Anweisung, so gut wie möglich zu raten. Nach Eingabe von T1 und T2 war der Durchgang beendet. Nun sollte die Versuchsperson wieder auf den Bildschirm schauen und das erneut erschienene rote Kreuz fixieren. Der Eyetracker überprüfte im Folgenden die visuelle Fixierung des Versuchsteilnehmers. War diese gegeben, starteten 800 ms nach dem Erscheinen des roten Kreuzes die Stimulusströme. War die Fixierung des roten Kreuzes nicht gegeben, erschien nach dem kurzen Auftauchen des roten Kreuzes ein rotes Ausrufezeichen für 500 ms. Diesem folgte immer das rote Kreuz für 800 ms, woraufhin ebenfalls die Stimulusströme starteten. Nach 360 von insgesamt 720 Durchgängen wurde eine kurze Pause für den Probanden eingelegt.

Das *Teilexperiment*  $Z_B$  glich dem Teilexperiment  $Z_Z$ . Der einzige Unterschied bestand darin, dass als relevante Zielreize bestimmte Großbuchstaben (D, F, G, J, K, L) präsentiert wurden und die Distraktoren Ziffern waren (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9). Man kann es daher als Spiegelbild des Teilexperimentes  $Z_Z$  auffassen.

	Distraktoren	Zielreize (T1 & T2)
Teilexperiment $Z_Z$	A, B, C, D, F, G, J, K, L	1, 2, 3, 4, 5, 6
Teilexperiment $Z_B$	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	D, F, G, J, K, L

Tabelle 2.2 Distraktoren und Zielreize der Teilexperimente  $Z_Z$  und  $Z_B$ .

6 Probanden (4 Frauen, 2 Männer) führten zuerst das Teilexperiment  $Z_Z$  durch und an einem späteren Tag das Teilexperiment  $Z_B$ . Die restlichen 6 Versuchsteilnehmer (3 Frauen, 3 Männer) absolvierten die beiden Teilexperimente in umgekehrter Reihenfolge.

#### 2.1.4 Versuchsdurchführung

Die EEG-Elektroden wurden mittels einer *Easycap-EEG-Haube*<sup>9</sup> auf dem Kopf des Probanden befestigt. Es wurden EEG-Hauben verschiedener Größe verwendet. Als Maß für die richtige Haube diente der Kopfumfang des Versuchsteilnehmers. Die Haube wurde mittels eines elastischen Bandes unterhalb des Kinns des Probanden geschlossen. Die Kopfhaut der Versuchsperson wurde mit alkoholgetränkten Wattestäbchen gereinigt. Zur Verbesserung der Leitfähigkeit wurde zwischen Kopf und Elektroden eine spezielle sandhaltige Elektrodenpaste gespritzt. Der Widerstand der Elektroden wurde verringert, bis er sich in sämtlichen Elektroden unterhalb einer Grenze von 5 k $\Omega$  bewegte.

Während die EEG-Elektroden befestigt wurden, füllte die Versuchsperson die Einverständnis-Erklärung sowie einen auf Deutsch übersetzten Bogen des Edinburgh-Handedness-Inventory aus. Um den Probanden an den Versuch zu gewöhnen, wurde vor dem Start des Experimentes eine Eingewöhnungsphase mit 10 bis 20 Durchgängen durchgeführt, in der die einzelnen Stimuluspaare mit einer Zeit von 500 ms wesentlich länger gezeigt wurden als mit der Zeitdauer von 130 ms im späteren Experiment. Bevor nach dieser Übung das eigentliche Experiment startete, durfte der Proband einige Durchgänge in der Originalgeschwindigkeit ausprobieren.

<sup>9</sup> Hersteller: Easycap GmbH, Herrsching, Deutschland.

Der Versuchsteilnehmer wurde instruiert, sich eine bequeme Sitzposition zu suchen, damit der Eyetracker nicht im Verlauf des Experimentes seine Augen verlor. Die Funktion des roten Ausrufezeichens wurde ihm erläutert. Der Proband wurde dazu angehalten, während der Phasen der Stimuluspräsentation das rote Kreuz mit beiden Augen zu fixieren, möglichst wenig zu blinzeln und den Kopf erst zu senken, wenn die Aufforderung auf dem Bildschirm erschienen war, die Zielreize in die Tastatur einzugeben. Außerdem wurde ihm demonstriert, wie sich mit bestimmten Bewegungen, wie Grimassieren oder dem Beißen der Zähne aufeinander, EEG-Artefakte erzeugen lassen. Dies wurde durchgeführt, um dem Probanden zu verdeutlichen, diese Bewegungen während des Versuches zu unterlassen. Es folgte eine kurze Kalibrierungsphase des Eyetrackers und danach der Start des Experimentes. Das Experiment dauerte insgesamt ungefähr 1,5 Stunden, je nach Schnelligkeit des Probanden und Häufigkeit des Erscheinens des roten Ausrufezeichens. Nach der Pause zur Hälfte des Experimentes wurde der Eyetracker erneut kalibriert. Zu der Experimentalzeit kam eine Vorbereitungszeit von einer Stunde, in der die EEG-Ableitungen angebracht und die Trainingsphase absolviert wurde.



Abbildung 2.3 Proband von vorne im Versuchsraum.

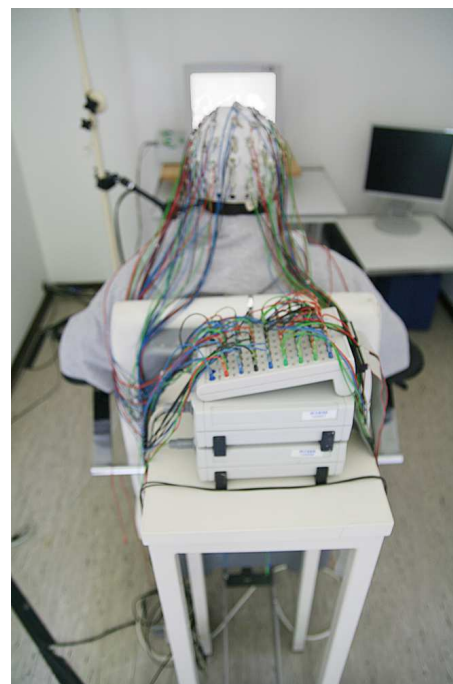


Abbildung 2.4 Proband von hinten im Versuchsraum.

### 2.1.5 Eyetracker

Um Abweichungen der Probanden bei der Fixierung des roten Kreuzes ausschließen zu können, wurde in beiden Telexperimenten ein Eyetracker (*Eyegaze Analysis System*) eingesetzt. Diese Fixierung war während des Erscheinens der Stimulusströme von Bedeutung, damit eine hemisphärengetrennte Verarbeitung der beiden Ströme stattfinden konnte. Als zweite Methode um diese Fixierung kontrollieren zu können, wurde zusätzlich das horizontale Elektrokulogramm (hEOG) eingesetzt (s. *Kapitel 2.1.7*). Die Messgenauigkeit des Eyetrackers ist jedoch höher und vor allem kann die absolute Blickposition wesentlich exakter bestimmt werden. Die Bildfrequenz der Kamera des Eyetrackers betrug 60 Hz. Mithilfe der Pupil-Center-Corneal Reflection (PCCR) Methode wurde die Blickrichtung der Probanden ermittelt. Dabei strahlte eine LED mittels infraroter Strahlung die Pupille des Probanden an, woraufhin diese reflektierte. Mit Hilfe einer speziellen Bildverarbeitungssoftware wurde das Zentrum sowohl der Pupillen- wie auch der Kornealreflexion bestimmt. Über trigonometrische Rechenverfahren konnte nun die Blickrichtung des Probanden ermittelt werden [1]. Während des gesamten Experimentes konnten außerdem beide Augen per Video betrachtet werden. Wie oben bereits beschrieben, erschien vor dem Start des neuen Durchgangs ein rotes Ausrufezeichen im Falle einer durch die Software des Eyetrackers als ungenügend erachteten Fixierung des roten Kreuzes. Die Bedingung für das Auftauchen des roten Ausrufezeichens war eine horizontale Abweichung der Blickrichtung des Probanden von mehr als 20 Pixeln (0,625 cm) in Bezug zum Zentrum des roten Fixierungskreuzes.

## 2.1.6 EEG

Für die Aufzeichnung der EEG-Daten wurden Ag/AgCl-Elektroden<sup>10</sup> verwendet. Die Elektroden wurden an 60 Positionen (AFz, Fz, FCz, Cz, CPz, Pz, POz, Oz, AF3, AF4, F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, FC1, FC2, FC3, FC4, FC5, FC6, FT7, FT8, C1, C2, C3, C4, C5, C6, T7, T8, CP1, CP2, CP3, CP4, CP5, CP6, TP7, TP8, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10, PO3, PO4, PO7, PO8, PO9, PO10, O1, O2) nach dem international standardisierten 10-10-System [17] auf der EEG-Haube befestigt. Außerdem wurden jeweils über und unter dem rechten Auge sowie neben beiden äußeren Augenwinkeln Elektroden mit Klebestreifen befestigt. Dies geschah, um sowohl ein vertikales als auch ein horizontales Elektrokulogramm (EOG) ableiten zu können. Die Elektrokulogramme waren von Interesse, um Blinzeln und gerichtete Augenbewegungen der Probanden in Richtung von T1 identifizieren zu können. Die online-Referenzelektrode befand sich auf der Position Fz. Die Daten wurden offline auf die Nasenspitze umreferenziert. An der Fpz-Position wurde die Erdungselektrode platziert. Als EEG-Verstärker wurde das Modell BrainAmp MR plus<sup>11</sup> verwendet, das die Daten im Bereich von 0 Hz bis 250 Hz verstärkte und mit 500 Hz je Kanal aufzeichnete.

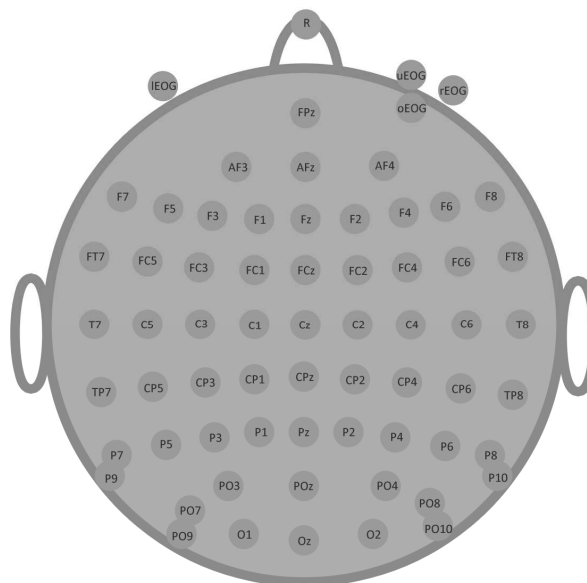


Abbildung 2.5 Position der EEG-Elektroden (R = Referenz, IEOG = Elektrode lateral des linken Auges, rEOG = Elektrode lateral des rechten Auges, oEOG = Elektrode oberhalb des rechten Auges, uEOG = Elektrode unterhalb des rechten Auges).

<sup>10</sup> Hersteller: Easycap GmbH, Herrsching, Deutschland.

<sup>11</sup> Hersteller: BrainProducts GmbH, Gilching, Deutschland.

### 2.1.7 Verarbeitung der EEG-Daten

Die Daten der EEG-Aufzeichnung wurden mithilfe der Software *BrainVision Analyzer*<sup>12</sup> bearbeitet. Mit dem Programm wurde eine Tiefpassfilterung der Daten mit einer Grenzfrequenz von 20 Hz durchgeführt. Artefakte im EEG wurden reduziert, indem Durchgänge ohne Spannungssignal und Durchgänge mit Spannungen, die einen Korridor von -100  $\mu\text{V}$  bis +100  $\mu\text{V}$  durchbrachen, entfernt wurden. Für die spätere Analyse der durch T1 und T2 evozierten Potentiale (mit den Komponenten N2pc und P3) wurden zusätzlich Durchgänge entfernt, in denen Spannungssprünge  $\geq 30 \mu\text{V}$  oder Spannungsdifferenzen  $\geq 150 \mu\text{V}$  auftraten. Hier wurden bei der Auswertung die EEG-Kurven derjenigen Probanden visuell überprüft, bei denen sehr viele Artefakte auftraten. Um die Anzahl an analysierbaren Durchgängen zu erhöhen, wurden dabei einige Segmente dennoch akzeptiert, die unter den obigen Bedingungen als Artefakte verworfen worden wären.

Bei den Visuell Evozierten Potentialen (VEPs) waren die Kriterien zur Artefaktreduktion für die Spannungssprünge und die Spannungsdifferenzen etwas weniger restriktiv gefasst als bei den durch die Zielreize evozierten Potentialen. Dies war notwendig, da zu Beginn der Durchgänge die VEPs große Amplituden aufweisen konnten. Hier wurden Spannungsdifferenzen bis 200  $\mu\text{V}$  und Spannungssprünge bis 50  $\mu\text{V}$  toleriert.

Das horizontale Elektroofokulogramm (hEOG) wurde abgeleitet, um bei der Fixierung des roten Kreuzes auftretende horizontale Abweichungen nachweisen zu können. Hierbei wurde entsprechend der Seite des Auftauchens von T1 eine Differenz gebildet, bei der die ipsilateralen Daten von den kontralateralen Daten abgezogen wurden. Zeigten sich im Mittelwert sämtlicher hEOG-Daten einer Person Spannungen, deren Abweichung von der Grundlinie innerhalb von 700 ms nach dem Erscheinen von T1 mehr als 8  $\mu\text{V}$  betrug, wurden diese als Augenbewegungen um mehr als 0,6° in Richtung zu T1 interpretiert und die betreffenden EEG-Daten dieser Person wurden verworfen. Aus diesem Grund mussten, wie bereits oben erwähnt, zwei Versuchspersonen von der gesamten Datenanalyse ausgeschlossen werden.

Da Blinzeln Artefakte im EEG erzeugt, wurde das vertikale Elektroofokulogramm (vEOG) abgeleitet, mit dem es möglich ist Blinzeln der Versuchspersonen zu detektieren. Durchgänge mit Spannungssprüngen über 30  $\mu\text{V}$  wurden als Blinzeln gewertet und nicht mit in die Datenanalyse einbezogen.

---

<sup>12</sup> Version 1.05 - Hersteller: BrainProducts GmbH, Gilching, Deutschland.

Für die spätere Analyse der durch T1 und T2 evozierten Potentiale und der VEPs wurden die einzelnen Durchgänge in angemessene Zeitsegmente aufgeteilt. Im Folgenden wird beschrieben, welche Segmente in die Datenanalyse einfließen.

Bei den durch T1 evozierten Potentialen flossen jeweils die EEG-Daten von 100 ms vor dessen Erscheinen bis 700 ms nach diesem Zeitpunkt in die Analyse ein. Die Zeitspanne von 100 ms, die dem Zeitpunkt des Auftauchens von T1 voranging, wurde jeweils für diese Daten als Grundlinie verwendet. Es wurden die Komponenten N2pc und P3 untersucht.

Als Grundlinie für die Daten der durch T2 evozierten Potentiale wurde ebenfalls die Zeitspanne der 100 ms, die T1 vorausging, genutzt. Das analysierte Segment der Komponente P3 erstreckte sich von 100 ms vor dem Erscheinen von T1 bis 850 ms nach dem, je nach Lag unterschiedlichen, Auftauchen von T2. Die für die Analyse der Komponente N2pc ausgewählten Segmente starteten ebenfalls 100 ms vor dem Erscheinen von T1 und endeten 500 ms nach dem Auftauchen von T2. Diese Beschränkung der Länge des Zeitsegmentes verhinderte, dass auch dasjenige Zeitintervall mit in die Analyse einbezogen wurde, in dem die Versuchspersonen bereits den Blick vom Bildschirm abgewendet hatten, um die Zielreize einzugeben. Denn in dieser Zeitspanne kommt es zu zahlreichen Artefakten [157].

Das Segment der VEP-Daten, das mit in die Analyse einbezogen wurde, startete 100 ms vor dem Erscheinen des ersten Stimuluspaares und erstreckte sich über einen Zeitraum von 900 ms.

### 2.1.8 Analyse der EEG-Komponenten

Für die Analyse der EEG-Komponenten waren in jeder der in *Tabelle 2.1* dargestellten 12 T1-T2-Kombinationen 10 artefaktfreie Durchgänge mit korrekter Zielreizeingabe der Mindeststandard. Aus diesem Grund wurde, wie bereits erwähnt, eine Versuchsperson von der gesamten Analyse ausgeschlossen. Die Anzahl an analysierbaren Durchgängen schwankte zwischen 13 und 59 von 60 maximal möglichen auswertbaren Durchgängen ( $\bar{x} = 41$ ).

Es wurden folgende EEG-Komponenten analysiert: Die sowohl von T1 wie auch von T2 evozierten Komponenten N2pc und P3, wie auch die VEPs. Bei der Datenanalyse der Komponenten N2pc und P3 wurden nur diejenigen artefaktfreien Durchgänge berücksichtigt, in denen die Probanden sowohl T1 wie auch T2 korrekt erkannt hatten. Bei

der Auswertung der VEPs flossen sämtliche artefaktfreien Durchgänge mit in die Analyse ein.

Für jeden einzelnen Probanden wurden die artefaktfreien Durchgänge gemittelt. In diesen Mittelwerten wurde die Analyse der verschiedenen EEG-Komponenten durchgeführt. Eine Ausnahme stellt die Analyse der durch T2 evozierten N2pc dar, die unten erläutert wird. Um die Resultate der Komponenten N2pc, P3 und der VEPs zu illustrieren, wurden Gesamtmittelwerte über alle Probanden gebildet, die in Form von Graphen veranschaulicht wurden.

Für die Bestimmung der durch T1 evozierten N2pc-Komponente (T1-N2pc) wurden die Daten der Elektroden PO7 und PO8 herangezogen, da diese an den genannten beiden Elektroden den größten Ausschlag zeigte. Es wurde jeweils separat eine links- und eine rechtshemisphärische T1-N2pc gebildet. Diese beiden T1-N2pcs errechneten sich aus einer Differenz von Spannungsdaten. Ziel dieser Differenzbildung war es, systematisch störende EEG-Signale herauszufiltern, um auf diese Weise die N2pc-Komponente besser sichtbar zu machen. Diese systematisch störenden Signale bestanden zum einen aus der pulsierenden Kette der VEPs, die durch den andauernden Strom von Distraktoren hervorgerufen wurde. Zum anderen waren diese Signale nicht-zielreizbezogene Hemisphärenasymmetrien. Im Detail wurden für die linkshemisphärische T1-N2pc von den Daten der Elektrode PO7 aus den Durchgängen, bei denen T1 kontralateral (also rechts) erschienen war, die Daten derselben Elektrode abgezogen, bei denen T1 auf der ipsilateralen Seite, also links, erschienen war ( $PO7_{T1-Rechts} - PO7_{T1-Links}$ ). Analog wurde eine Differenz für die rechtshemisphärische T1-N2pc gebildet ( $PO8_{T1-Links} - PO8_{T1-Rechts}$ ). Amplitude und Latenz der T1-N2pc wurden anhand des größten negativen Spannungsausschlages in der Zeitspanne von 170 bis 260 ms nach dem Erscheinen von T1 bestimmt.

Zur Bestimmung der durch T2 evozierten N2pc-Komponente (T2-N2pc) wurden, aus dem gleichen Grund wie bei der Bestimmung der T1-N2pc, die beiden Elektroden PO8 und PO7 herangezogen. Für jede der 12 in *Tabelle 2.1* aufgeführten T1-T2-Kombinationen wurden jeweils Mittelwerte der EEG-Daten gebildet. Bei der Bildung dieser Mittelwerte wurde die Jackknife-Methode verwendet, um das Signal-Rausch-Verhältnis zu verbessern [77, 102]. Das bedeutet, dass 12 Mittelwerte über die 12 Teilnehmer gebildet wurden, wobei bei jedem einzelnen Mittelwert jeweils ein anderer Teilnehmer nicht miteinbezogen wurde. Auch hier wurde jeweils separat die N2pc-Komponente für die rechte und linke Hemisphäre bestimmt.

Um systematisch störende EEG-Signale herauszufiltern, wurde jeweils eine kontralateral-ipsilaterale Differenz der EEG-Daten der beiden Hemisphären gebildet. Dies geschah aus den beiden gleichen Gründen wie auch bei der Differenzbildung der T1-N2pc. Zusätzlich sollten durch diese Berechnungsmethode bei der T2-N2pc etwaige Asymmetrien der P3-Komponente herausgefiltert werden, die möglicherweise schon in der Zeitspanne des Erscheinens der T2-N2pc auftauchten. Bei rechtsseitigem T2 wurden die Daten der Elektrode PO8 von denen von PO7 subtrahiert ( $PO7 - PO8$ ) und bei linksseitigem T2 die Spannungsdaten von PO7 von denen von PO8 ( $PO8 - PO7$ ). Außerdem musste diese kontralateral-ipsilaterale Differenz von Nachpotentialen der T1-N2pc-Komponente befreit werden. Um dieses Ziel zu erreichen, nutzten wir getrennt für die Daten von Lag 1 und 3 einerseits und von Lag 5 andererseits zwei verschiedene Verfahren. Dabei wurden von den EEG-Potentialen zum Zeitpunkt des Auftretens der N2pc solche EEG-Potentiale abgezogen, zu deren Zeitpunkt keine N2pc auftrat. Die Differenz wurde Punkt-zu-Punkt errechnet. Das bedeutet, dass eine PO7-PO8-Spannungsdifferenz in einem Lag, wo zu diesem Zeitpunkt keine N2pc auftrat, von der PO7-PO8-Spannungsdifferenz in einem anderen Lag subtrahiert wurde, in dem zu dieser Zeit die N2pc auftrat. Hierbei wurden die Spannungsdaten desselben Zeitraums voneinander abgezogen. Bei Lag 1 und 3 wurde von den jeweiligen Spannungsdifferenzen ein Mittelwert aus Spannungsdifferenzen aus Lag 5 subtrahiert. Dieser Mittelwert der Daten aus Lag 5 bildete sich aus den beiden Kombinationen, in denen T1 auf der gleichen Seite erschien wie in der Kombination, von der subtrahiert wurde (rechts oder links). Diese Subtraktion wurde im Zeitraum von 0 ms bis 740 ms durchgeführt (*s. Beispiel in Abbildung 2.6*).

Bei den Daten aus Lag 5 konnte diese Methode nicht angewendet werden, da kein Referenz-Lag vorlag, in welchem zur gleichen Zeit keine N2pc aufgetreten war. Aus diesem Grund wurde bei den Spannungsdaten von Lag 5 getrennt für die beiden T1-T2-Kombinationen, in denen T1 links auftrat, und für die beiden Kombinationen, in denen er auf der rechten Seite erschien, ein Spannungsmittelwert im Zeitraum von 500 ms bis 800 ms gebildet. In dieser Zeitspanne hatten bei Lag 5 die T2-Effekte noch nicht eingesetzt und T1 war möglichst weit entfernt. Der relativ lange Zeitraum wurde ausgewählt, um Spannungsfluktuationen auszugleichen. Dieser Spannungsmittelwert wurde nun von jedem Spannungswert in Lag 5 von 800 ms bis 1000 ms subtrahiert.

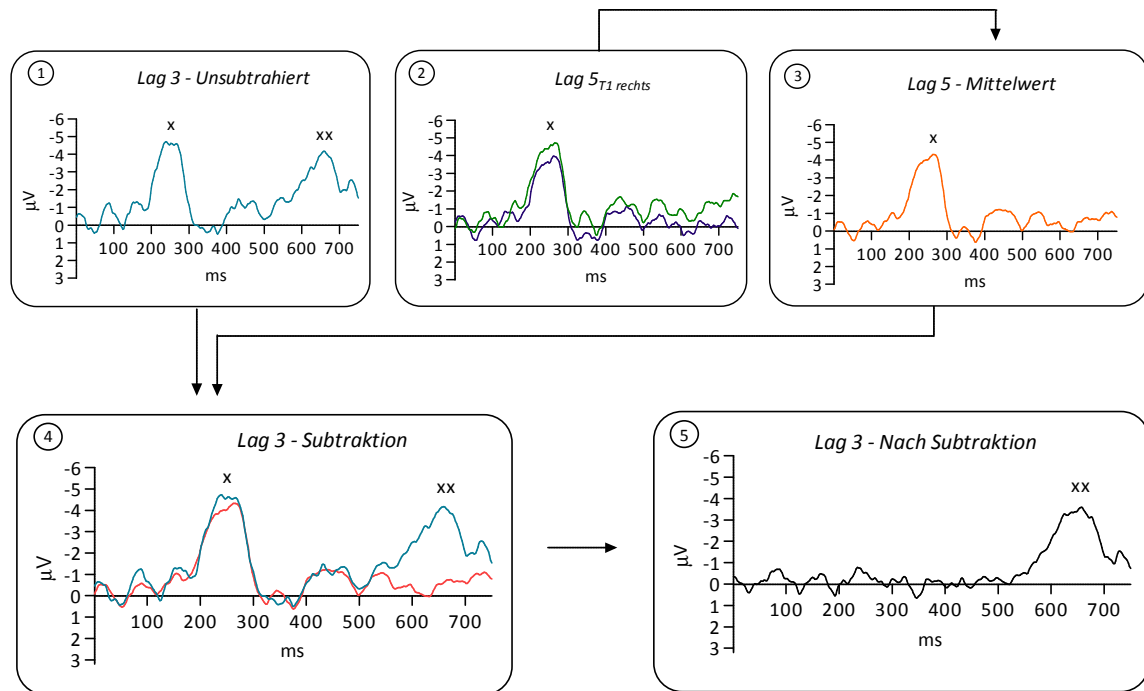


Abbildung 2.6

Darstellung einer Subtraktion zur letztendlichen Generierung einer T2-N2pc-Kurve. Als Beispiel dient die T1-T2-Kombination, in der T1 und T2 auf der rechten Seite erschienen und T2 in Lag 3 nach T1 auftauchte (Teilexperiment Z<sub>2</sub>). Die T1-N2pc ist mit einem Kreuz gekennzeichnet, die T2-N2pc mit 2 Kreuzen. In Koordinatensystem 1 (oben links) findet sich die Spannungskurve dieser T1-T2-Kombination aus Lag 3 (die Spannungsdaten errechnen sich als Differenz der Elektroden PO7 und PO8 [PO7-PO8]). Rechts daneben in Koordinatensystem 2 (oben Mitte) werden die Spannungsdaten der beiden T1-T2-Kombinationen aus Lag 5 gezeigt, in denen T1 auf der rechten Seite erschien (Grüner Graph: T1 rechts, T2 rechts [PO7-PO8] – Lila Graph: T1 rechts, T2 links [PO7-PO8]). Aus diesen beiden Graphen wird nun der Mittelwert gebildet. Dieser Mittelwert der Spannungsdaten aus Lag 5 wird nun von den ursprünglichen Daten aus Lag 3 subtrahiert. Dargestellt wird diese Subtraktion in Koordinatensystem 4 (unten links), es wird der orangene Graph vom blauen Graph subtrahiert. Das Ergebnis dieser Subtraktion ist der schwarze Graph in Koordinatensystem 5 (unten rechts). Vergleicht man Koordinatensystem 1 und 5 ist klar ersichtlich, dass die T1-N2pc durch den Subtraktionsvorgang verschwindet. Gleichzeitig verschwinden Nachpotentiale des T1-N2pc, entsprechend dem Gedanken, der hinter den in dieser Grafik dargestellten Subtraktionsvorgängen steht.

Der Spannungsgipfel der T2-N2pc und ihre Latenz wurden in dem Zeitfenster von 150 ms bis 350 ms nach dem Erscheinen von T2 gesucht. Latenz und Amplitude der T2-N2pc konnten nicht, wie bei der T1-N2pc, aus dem größten negativen Spannungsgipfel einer bestimmten Zeitspanne bestimmt werden, da die T2-N2pc-Kurve sehr inhomogen verlief. Daher wurde als Latenz derjenige Zeitpunkt bestimmt, der die AUC (*area under the curve*) der zeitabhängigen Spannungskurve halbierte [26, 91]. Die AUC ermittelten wir in der oben genannten Zeitspanne von 150 ms bis 350 ms nach dem Erscheinen von T2. Um die Schätzung der 50 %-Marke der AUC zu verbessern, wurden in den Fällen, wo sich die Spannung im oben beschriebenen Zeitfenster nicht über die gesamte Zeit im negativen Bereich bewegte, alle positiven Werte auf Null gesetzt.

Die Amplitude der T2-N2pc wurde als mittlerer Spannungswert der Daten  $\pm 25$  ms um den Zeitpunkt der 50 %-Marke (Latenz) herum bestimmt.

Die Komponente P3 wurde jeweils für T1 und T2 bestimmt. In beiden Fällen verwendeten wir die Messdaten der Pz-Elektrode. Die durch T1 evozierte P3 (T1-P3) wurde festgelegt als größter positiver Spannungswert in der Zeitspanne von 300 ms bis 500 ms nach dem Erscheinen von T1. Die P3-Komponente, die durch T2 hervorgerufen wurde (T2-P3), bestimmten wir als größten positiven Spannungsgipfel in der Zeitspanne von 300 ms bis 600 ms nach dem Erscheinen von T2. Für die beiden P3-Komponenten wurden Amplitude und Latenz ermittelt. Bei der Detektierung der T2-P3 wurden vor der Spannungsgipfelbestimmung die Daten mit einer Grenzfrequenz von 8 Hz tiefpassgefiltert, da die T2-P3-Potentialkurve durch viele Nebenfrequenzen überlagert worden war.

Für die grafische Darstellung und die Bestimmung der Amplitude der durch T2 evozierten P3 war problematisch, dass ihr Startpunkt sich auf unterschiedlichen Höhen in Bezug zur Grundlinie befand. Dies war bedingt durch die vorhergehende, durch T1 evozierte P3 und abhängig von dem Lag von T2. Daher wurde für jeden Lag in der Gesamtmittelwert-P3-Kurve über alle Versuchspersonen visuell der Anfangspunkt der P3-Komponente identifiziert. Der Mittelwert der Spannungsdaten im Zeitintervall von  $\pm 10$  ms um diesen Zeitpunkt herum wurde jeweils als Grundlinie für die grafische Darstellung und die Bestimmung der Amplitude der nachfolgenden P3 genutzt.

Die analysierte Periode der Visuell Evozierten Potentiale (VEPs) umfasste 800 ms und startete mit dem Erscheinen des ersten Distraktorenpaars eines Durchganges. Die Daten der Elektroden PO7 und PO8 wurden verwendet, da an diesen beiden die Amplituden der VEPs am größten waren. Um festzustellen, ob die VEP-Spannungskurven der linken (PO7) und rechten Hemisphäre (PO8) eine gegenseitige zeitliche Verschiebung aufweisen, wurden diese einzeln bei jeder Versuchsperson miteinander korreliert [113]. Hierbei wurde eine der beiden Kurven in Schritten von 2 ms in Bezug auf die andere Kurve zeitlich verschoben. Die Korrelation der beiden Kurven wurde für jede Verschiebung von -50 ms bis +50 ms einzeln berechnet. Die Latenzdifferenz der VEP-Spannungskurven der beiden Hemisphären wurde als die zeitliche Verschiebung definiert, bei der der Korrelationskoeffizient seinen maximalen Wert erreichte.

### 2.1.9 Analyse der Zielreizangaben

Für die Berechnung der Identifikationsquote von T1 wurde der Quotient der Durchgänge, in denen T1 korrekt angegeben wurde, zu allen Durchgängen gebildet. Zur Berechnung der Identifikationsquote von T2 bildeten wir den Quotienten aus den Durchgängen, in denen T1 und T2 korrekt eingegeben wurden, zu allen Durchgängen, in denen T1 korrekt erkannt wurde.

$$\text{Quote}_{T1} = \frac{T1_{\text{korrekt}}}{\text{Alle Durchgänge}} \quad \text{Quote}_{T2} = \frac{T1_{\text{korrekt}} \text{ und } T2_{\text{korrekt}}}{T1_{\text{korrekt}}}$$

Formel 2.1 + 2.2 Die beiden Auswertungsmuster für T1 und T2.

Gewählt wurde diese Methode, da es von Bedeutung ist, dass T1 gesehen worden ist, wenn Aussagen darüber getroffen werden sollen, wie T2 als zweiter Zielreiz verarbeitet wird. Wurde T1 nicht korrekt angegeben, ist es möglich, wenn nicht sogar wahrscheinlich, dass dieser gar nicht gesehen wurde. In diesem Falle wäre T2 folglich als erster und nicht als zweiter aufgetretener Zielreiz verarbeitet worden.

Verfälschungen der Identifikationsquoten, die durch Raten der Versuchspersonen zustande kommen, wurden nicht korrigiert. Eine derartige Korrektur ist durchaus möglich (*s. Dell'Acqua et. al [27]*). Allerdings ergeben sich durch solche Korrekturen keine Veränderungen bei den Signifikanzwerten von Effekten. Daher wurde hier auf eine Korrektur verzichtet. Beim Vergleich von Identifikationsquoten unterschiedlicher Experimente, bei denen sich die Anzahl der Zielreiz-Zeichen unterscheidet, wäre eine Korrektur von Rateverfälschungen jedoch angebracht.

### 2.1.10 Statistische Analyse

Bei der statistischen Analyse wurde für die Zielreizangaben und die durch T1 und T2 evozierten Komponenten N2pc und P3 eine mehrfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholung durchgeführt. Die grundlegenden Faktoren der ANOVA waren: Seite der Reizpräsentation (Rechts oder Links – der Reiz war hierbei T1 oder T2, je nach Analyse), Seitigkeit (gleichseitig mit dem anderen Reiz oder verschiedenseitig), der Lag (Lag 1, 3 oder 5) und das Teilexperiment ( $Z_B$  oder  $Z_Z$ ). Die F-Werte aus der Messung der T2-N2pc mussten aufgrund ihrer, durch die Jackknife-Methode bedingten, drastisch verringerten interindividuellen Varianz korrigiert werden. Dabei wurde durch  $(n-1)^2 = 121$  geteilt<sup>13</sup>. Falls für einen Faktor mehr als zwei Stufen existierten (d.h. für Lag), wurden die Freiheitsgrade mit dem Greenhouse-Geisser Koeffizienten heruntermultipliziert.

Bei den VEPs wurde ein t-Test der Latenzdifferenzen der VEP-Spannungskurven beider Hemisphären über alle Versuchspersonen berechnet.

---

<sup>13</sup> n = Anzahl der Versuchspersonen (12).

## 2.2 Experiment 2

Material und Methodik der Experimente 1 und 2 waren nahezu deckungsgleich. Daher wird im Folgenden auf eine eingehende Beschreibung des Experimentes 2 verzichtet. Stattdessen wird nur auf die Unterschiede zu Experiment 1 eingegangen.

### 2.2.1 Versuchspersonen

An dem Experiment 2 nahmen 18 Versuchspersonen für einen Stundenlohn von 7 € teil. Alle Probanden unterzeichneten eine Einverständniserklärung und nahmen freiwillig an dem Versuch teil. Von den 18 Versuchsteilnehmern musste einer aufgrund mit dem EEG beobachteter Augenbewegungen (*s. Kapitel 2.1.7*) und einer aufgrund zu vieler Artefakte im EEG von der Datenanalyse ausgeschlossen werden. Die verbleibenden 16 Probanden teilten sich in 11 Frauen und 5 Männer und waren zwischen 21 und 33 Jahre ( $\bar{x} = 25$  Jahre) alt. Sie gaben alle an, neurologisch gesund zu sein. Die Versuchsteilnehmer waren Studierende der Universität zu Lübeck (14 Probanden), außerdem nahmen ein Zahntechniker und ein Doktorand der Physik an dem Experiment teil. Der höchste Bildungsabschluss der Studierenden und des Zahntechnikers war das Abitur, des Doktoranden für Physik das Diplom. Nach der Selbstangabe im Edinburgh Handedness Inventory [114] waren alle Probanden Rechtshänder (54 bis 100 Punkte,  $\bar{x} = 93$  Punkte,  $SD = 15$ ). Alle Versuchspersonen hatten eine normale Sehkraft, bei acht unter ihnen wurde diese mittels einer Brille, bei einem Proband mittels Kontaktlinsen hergestellt. Keiner der Probanden hatte bereits an Experiment 1 teilgenommen.

### 2.2.2 Versuchsaufbau

Dieser gestaltete sich wie in Experiment 1. Da die Zielreize sich aus Ziffern und Buchstaben zusammensetzten (*s. Kapitel 2.2.3*), gaben die Versuchspersonen diese in den Ziffernblock sowie den Buchstabenteil der Tastatur ein. Im Gegensatz zu Experiment 1 wurde die Tastatur nicht mit Aufklebern präpariert.

### 2.2.3 Distraktoren und Zielreize

In Experiment 2 wurden andere Distraktoren und Zielreize verwendet als in Experiment 1. Die Distraktoren setzten sich aus allen Buchstaben des Alphabetes, außer den Buchstaben H und W zusammen. Sie waren schwarz. Als Zielreiz T1 wurden die Buchstaben D, F, G, J, K, L gezeigt. T1 war blau. Als Zielreiz T2 wurden die Ziffern 1, 2, 3, 4, 5, 6 verwendet, die in schwarzer Farbe auf dem Bildschirm erschienen.

	Experiment 2
Distraktoren (schwarz)	A, B, C, D, F, G, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, X, Y, Z
Zielreiz T1 (blau)	D, F, G, J, K, L
Zielreiz T2 (schwarz)	1, 2, 3, 4, 5, 6

Tabelle 2.3 Distraktoren und Zielreize des Experimentes 2.

Der entscheidende Unterschied zu Experiment 1 war folgender: In Experiment 2 wurden vier T1-T2-Kombinationen gezeigt, die in Experiment 1 nicht auftauchten. Zwei dieser vier Kombinationen bestanden darin, dass nur ein T1 gezeigt wurde, dem kein T2 folgte. Dieser T1 konnte im linken oder im rechten Stimulusstrom erscheinen. Die anderen beiden Kombinationen stellten die gegensätzliche Situation dar. Es wurde ein T2 gezeigt, dem kein T1 voranging. Dieser T2 konnte ebenfalls im linken oder im rechten Stimulusstrom erscheinen. Den Versuchspersonen wurde vor dem Versuch nicht mitgeteilt, dass diese vier T1-T2-Kombinationen gezeigt werden. Deshalb bestand bei ihnen die Erwartungshaltung, dass in jedem Durchgang ein T1 und ein T2 erscheinen würde. Um aufgrund der vier neuen T1-T2-Kombinationen die Anzahl an Durchgängen im Vergleich zu Experiment 1 nicht zu steigern, wurden nicht drei verschiedene Lags verwendet, sondern nur zwei. Dies waren Lag 1 (T2 erschien 130 ms nach dem Auftauchen von T1) und Lag 4 (T2 erschien 520 ms nach dem Auftauchen von T1). In Lag 1 und 4 konnten T1 und T2 jeweils im rechten und linken Stimulusstrom erscheinen. Hieraus resultierten insgesamt 12 T1-T2-Kombinationen, die jeweils 60-mal gezeigt wurden. Dies ergab in der Gesamtsumme eine Anzahl von 720 Durchgängen, die derjenigen von Experiment 1 entspricht.

Da nicht zwei Teilerperimente, sondern nur ein Experiment durchgeführt wurde, erschienen die Versuchspersonen nur zu einem Termin.

### 2.2.4 Versuchsdurchführung, Eyetracker, EEG

Siehe Darstellung des Experimentes 1.

### 2.2.5 Verarbeitung der EEG-Daten

Die Verarbeitung der EEG-Daten erfolgte analog zu Experiment 1.

### 2.2.6 Analyse der EEG-Komponenten

Für die Analyse der EEG-Komponenten waren in jeder der 12 T1-T2-Kombinationen 10 artefaktfreie Durchgänge mit korrekter Zielreizeingabe der Mindeststandard. Die Anzahl an analysierbaren Durchgängen schwankte zwischen 10 und 59 von 60 maximal möglichen auswertbaren Durchgängen ( $\bar{x} = 40$ ).

Die Analyse der durch T1 evozierten P3 und der VEPs erfolgte analog zu Experiment 1 (*s. Kapitel 2.1.8*).

Die durch T1 und T2 evozierte N2pc und die durch T2 evozierte P3 wurden jeweils mithilfe von zwei verschiedenen Auswertungsmethoden analysiert. Zum einen wurden die drei Komponenten mit der Standard-Methode untersucht, die in Experiment 1 zur Anwendung kam (*s. Kapitel 2.1.8*) und sich an *Verleger, Śmigasiwicz & Möller* [157] orientiert. Da T2 in Lag 4 und nicht in Lag 5 nach T1 gezeigt wurde, veränderte sich die Zeitspanne, aus der sich der Spannungsmittelwert der T2-N2pc berechnete, welcher schließlich von den Daten aus Lag 4 abgezogen wurde. Dieser Mittelwert wurde in dem Zeitraum zwischen 400 und 600 ms nach dem Erscheinen von T1 gebildet.

Zum anderen wurde jede Komponente mit einer neuen Auswertungsmethode analysiert. Diese neue Auswertungsmethode stellt bei der T2-N2pc eine Alternative dar, systematisch störende EEG-Signale zu entfernen, bei der T2-P3 ist dies erstmals möglich (*zur Natur dieser störenden Signale s. Kapitel 2.1.8*). Außerdem können durch die neue Methode, im Gegensatz zu der Auswertungsmethode aus Experiment 1, bei der T2-P3 die Nachpotentiale der T1-P3 entfernt werden und bei der T2-N2pc in Lag 4 die pulsierende Kette der VEPs.

Um die EEG-Daten von diesen störenden Signalen zu befreien, verwendeten wir als Subtraktionsnegativ diejenigen Durchgänge, in denen T1 bzw. T2 nicht präsentiert wurde. Somit wurden bei der durch T1 evozierten N2pc die Spannungsdaten der Durchgänge, in denen T1 nicht erschien, von den Daten derjenigen Durchgänge subtrahiert, in denen T1 gezeigt wurde. Bei der durch T2 evozierten N2pc und P3 erfolgte dieses Vorgehen analog mit den Durchgängen, in denen T2 erschien bzw. nicht präsentiert wurde. Hierbei wurden die Daten derselben Elektroden voneinander abgezogen (z.B.  $PO8_{mitT1} - PO8_{ohneT1}$ ).

Die durch T1 und T2 evozierte N2pc wurde an den Elektroden PO7 und PO8 abgeleitet, die T2-P3 an der Elektrode Pz. Das Fenster, in dem Amplitude und Latenz der durch T1 und T2 evozierten N2pc ermittelt wurden, entsprach dem jeweiligen Fenster aus Experiment 1.

Bei der durch T2 evozierten P3 war dieses Fenster verschieden zu demjenigen aus Experiment 1. Amplitude und Latenz wurden durch den größten positiven Spannungsgipfel im Zeitraum von 350 bis 750 nach Erscheinen von T2 bestimmt. Als Grundlinie wurde der Mittelwert der Spannungsdaten von 420 – 520 ms nach dem Erscheinen von T1 subtrahiert. Außerdem wurden die Daten der T2-P3 vor der Spannungsgipfelbestimmung mit einer Grenzfrequenz von 5 Hz tiefpassgefiltert.

Bei der durch T2 evozierten N2pc konnten leider nur die Daten aus Lag 4 ausgewertet werden, da bei der neuen Auswertungsmethode ein Problem auftrat. Die Problematik bestand darin, dass in Lag 1 bei zwei der mithilfe der Jackknife-Methode berechneten Mittelwerte über alle Versuchspersonen, keine Latenz ermittelt werden konnte, da in dem Bereich wo die Latenz gesucht wurde, sämtliche Werte positiv waren und damit genullt wurden.

### 2.2.7 Analyse der Zielreizangaben

In Bezug auf die T1-T2-Kombinationen, bei denen sowohl T1 als auch T2 erschienen, erfolgte die Analyse der T1- und der T2-Identifikationsquoten wie in Experiment 1. Zusätzlich wurden die T1-T2-Kombinationen analysiert, in denen jeweils nur T1 oder nur T2 erschien. Für die Identifikationsquote von T1 ohne folgenden T2 wurde dabei der Quotient aus den Durchgängen, in denen nur T1 erschien (und dieser korrekt angegeben wurde), zu allen Durchgängen gebildet, in denen nur T1 erschien. Die Identifikationsquote von T2 ohne vorausgehenden T1 wurde analog berechnet.

$$\text{Quote}_{T1e} = \frac{T1e_{\text{korrekt}}}{T1e_{\text{korrekt}} + T1e_{\text{falsch}}} \quad \text{Quote}_{T2e} = \frac{T2e_{\text{korrekt}}}{T2e_{\text{korrekt}} + T2e_{\text{falsch}}}$$

Formel 2.3 + 2.4 Die beiden Auswertungsmuster für T1e und T2e. Das kleine „e“ steht hierbei für „einzel“. T1e bezeichnet diejenigen T1-T2-Kombinationen, in denen nur T1 erschien, T2e die T1-T2-Kombinationen, in denen nur T2 auftauchte.

### 2.2.8 Statistische Analyse

Bei den Durchgängen, in denen beide Zielreize erschienen, wurde für die Zielreizangaben und bei den durch T1 und T2 evozierten Komponenten N2pc und P3 eine mehrfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholung durchgeführt. Die grundlegenden Faktoren der ANOVA in diesem Experiment waren: Seite der Reizpräsentation (Rechts oder Links – der Reiz war hierbei T1 oder T2, je nach Analyse), Seitigkeit (gleichseitig mit dem anderen Reiz oder verschiedenseitig), der Lag (Lag 1 oder 4) und die Auswertungsmethode (Standardmethode oder neue Auswertungsmethode). Bei der Analyse der Zielreizangaben und der durch T1 evozierten P3 war der Faktor Auswertungsmethode kein Bestandteil der ANOVA, da dort nur die Standardmethode durchgeführt wurde. Die F-Werte aus der Messung der T2-N2pc mussten aufgrund ihrer, durch die Jackknife-Methode bedingten, drastisch verringerten interindividuellen Varianz korrigiert werden. Dabei wurde durch  $(n-1)^2 = 225$  geteilt<sup>14</sup>. Bei den Durchgängen, in denen nur einer der beiden Zielreize erschien (nur T1 oder nur T2), führten wir für die Zielreizangaben eine mehrfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholung durch, die als Faktor nur die Seite der Reizpräsentation enthielt.

Die VEPs wurden analog zu Experiment 1 analysiert.

---

<sup>14</sup> n = Anzahl der Versuchspersonen (16).

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Experiment 1

Im Folgenden werden alle signifikanten Effekte des Experimentes 1 näher beschrieben. Eine tabellarische Darstellung sämtlicher Effekte und ihrer Signifikanzen findet sich im Anhang (s. Tabellen 7.1 und 7.2).

##### 3.1.1 Identifikation der Zielreize

###### 3.1.1.1 Identifikation von T2

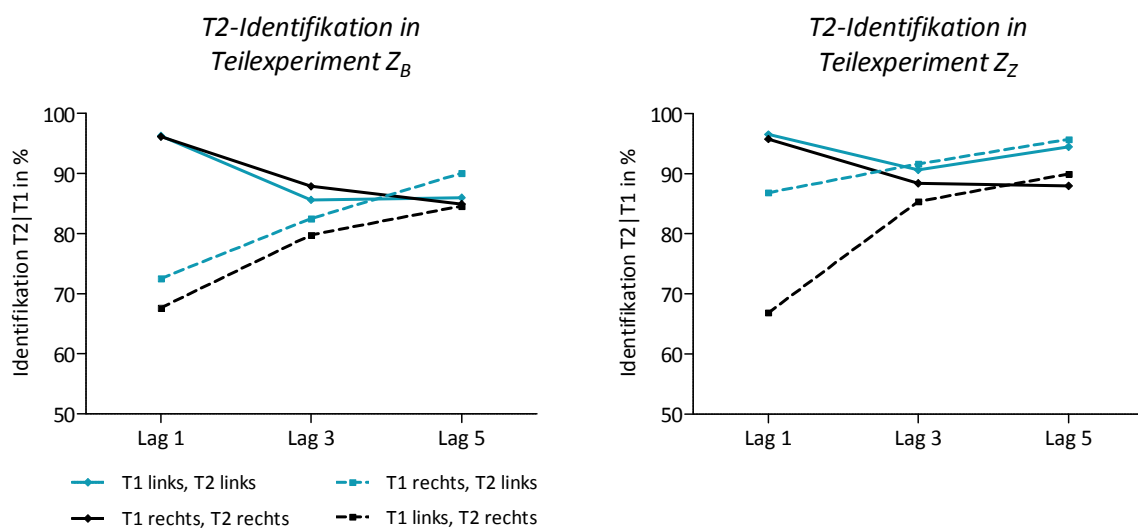


Abbildung 3.1 Quoten der T2-Identifikation der vier T1-T2-Kombinationen, bei jeweils korrekt angegebenen T1 ( $T2|T1$ ). Im linken Koordinatensystem sind die Ergebnisse des Telexperimentes  $Z_B$  (Zielreize waren Buchstaben, Distraktoren waren Ziffern) dargestellt, im rechten die des Telexperimentes  $Z_Z$  (Zielreize waren Ziffern, Distraktoren waren Buchstaben). Durchgezogene Linien stellen T1-T2-Kombinationen dar, bei denen beide Zielreize auf derselben Seite auftauchten, gestrichelte Linien beziehen sich auf T1-T2-Kombinationen bei denen die Zielreize auf verschiedenen Seiten erschienen.

Lag	1				3				5			
	Gleich		Verschieden		Gleich		Verschieden		Gleich		Verschieden	
T1-T2-Komb.	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R
T2 T1												
Teilexp. Z <sub>B</sub>	96 (4)	96 (6)	73 (14)	68 (17)	86 (12)	88 (10)	82 (16)	80 (14)	86 (12)	85 (10)	90 (8)	85 (10)
Teilexp. Z <sub>Z</sub>	97 (4)	96 (8)	87 (9)	67 (17)	91 (7)	88 (9)	92 (8)	85 (12)	95 (5)	88 (11)	96 (5)	90 (9)
T1												
Teilexp. Z <sub>B</sub>	65 (12)	66 (14)	81 (9)	74 (12)	91 (5)	90 (8)	89 (7)	88 (10)	94 (5)	91 (7)	94 (4)	90 (7)
Teilexp. Z <sub>Z</sub>	67 (11)	58 (14)	79 (10)	78 (10)	94 (4)	87 (9)	89 (6)	89 (8)	94 (5)	90 (9)	93 (4)	92 (9)

Tabelle 3.1 In dieser Tabelle sind die Mittelwerte der T2-Identifikation bei korrektem T1 (T2|T1) (obere Hälfte) und der T1-Identifikation (untere Hälfte) für die verschiedenen T1-T2-Kombinationen in den drei Lags dargestellt. Die Zeile Zielreizseite bezieht sich auf die Seite des Erscheinens des jeweiligen Zielreizes, folglich entweder auf T1 oder auf T2. *Gleich* bedeutet, dass T1 und T2 auf derselben Seite auftauchten, *Verschieden* bedeutet entsprechend, dass die beiden Zielreize auf unterschiedlichen Seiten erschienen. In Klammern ist jeweils die Standardabweichung angegeben (T1-T2-Komb. = T1-T2-Kombination, Teilexp. = Teilexperiment, L = links, R = rechts).

Wie zu erwarten, war die Identifikationsquote des T2 höher, wenn er im linken Stimulusstrom erschien, als wenn er im rechten Stimulusstrom<sup>15</sup> auftauchte (*T2-Seite*:  $F_{1,11} = 7,3$ ,  $p = 0,021$ ). Erstaunlicherweise war dies nur in Teilexperiment Z<sub>Z</sub> der Fall ( $93 \pm 5\%$  vs.  $86 \pm 9\%$ ), in Teilexperiment Z<sub>B</sub> erwies sich dieser Effekt als nicht signifikant ( $85 \pm 8\%$  vs.  $83 \pm 8\%$ ), (*T2-Seite* × *BZ*<sup>16</sup>:  $F_{1,11} = 4,8$ ,  $p = 0,052$ ; *T2-Seite bei Z<sub>Z</sub>*:  $F_{1,11} = 17,3$ ,  $p = 0,002$ ; *T2-Seite bei Z<sub>B</sub>*:  $F_{1,11} = 0,8$ , *n.s.*).

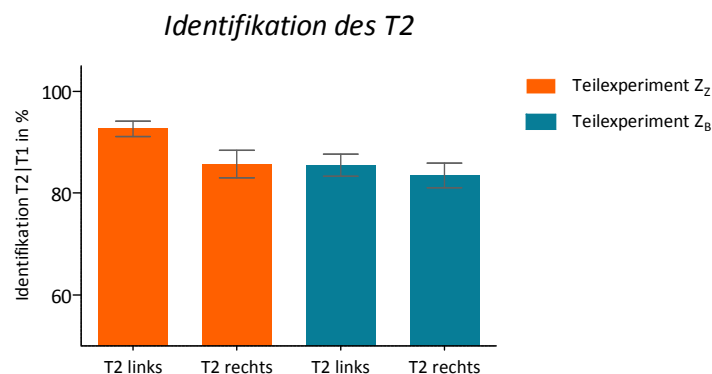


Abbildung 3.2 Quoten der T2-Identifikation bei korrekter Angabe des T1 (T2|T1), getrennt jeweils für das Teilexperiment Z<sub>Z</sub> (orange) und Z<sub>B</sub> (blau) und der Seite des Erscheinens von T2 (rechts/links). Als Fehlerbalken sind die Standardabweichungen des Mittelwertes angegeben.

<sup>15</sup> Im Folgenden wird zur Vereinfachung nur noch von der linken bzw. rechten Seite des T2 oder auch nur von linkem bzw. rechtem T2 gesprochen. Gemeint ist jeweils das Erscheinen von T2 im linken oder rechten Stimulusstrom.

<sup>16</sup> BZ ist die Abkürzung für den Faktor Buchstaben-Ziffern [oder auch Teilexperiment] (*s. Methodenteil*).

Der linke T2 wurde nur in Lag 1 und 5 besser identifiziert als der rechte, nicht jedoch in Lag 3 (*Lag* × *T2-Seite*:  $F_{2,22} = 5,0$ ,  $p = 0,017$ ; *T2-Seite in Lag 1*:  $F_{1,11} = 9,4$ ,  $p = 0,01$ ; *in Lag 3*:  $F_{1,11} = 2,1$ , *n.s.*; *und in Lag 5*:  $F_{1,11} = 6,8$ ,  $p = 0,02$ ). Im Weiteren war die Identifikationsquote des linken im Vergleich zum rechten T2 nur höher, wenn T1 und T2 auf verschiedenen Seiten, nicht aber wenn sie auf der gleichen Seite erschienen (*T2-Seite* × *Seitigkeit*:  $F_{1,11} = 7,0$ ,  $p = 0,023$ ; *T2-Seite bei gleichseitigen Zielreizen*:  $F_{1,11} = 0,9$ , *n.s.*; *bei verschiedenseitigen Zielreizen*:  $F_{1,11} = 9,5$ ,  $p = 0,01$ ).

In Lag 1 war die Identifikationsquote des T2 höher, wenn T1 und T2 auf der gleichen Seite erschienen, im Vergleich zum Erscheinen auf verschiedenen Seiten (*Seitigkeit*:  $F_{1,11} = 29,6$ ,  $p < 0,001$ ; *Lag* × *Seitigkeit*:  $F_{2,22} = 80,0$ ,  $p < 0,001$ ; *Seitigkeit in Lag 1*:  $F_{1,11} = 85,7$ ,  $p < 0,001$ ; *in Lag 3*:  $F_{1,11} = 3,7$ ,  $p = 0,08$ ; *und in Lag 5*:  $F_{1,11} = 1,7$ , *n.s.*). Wenn T1 und T2 auf verschiedenen Seiten präsentiert wurden, war die T2-Identifikationsquote in Teilerperiment  $Z_Z$  höher als in  $Z_B$  (*BZ* × *Seitigkeit*:  $F_{1,11} = 5,8$ ,  $p = 0,034$ ; *BZ-Effekt für gleichseitige Zielreize*:  $F_{1,11} = 1,1$ , *n.s.*; *für verschiedenseitige Zielreize*:  $F_{1,11} = 6,2$ ,  $p = 0,03$ ).

Die Interaktion aller vier Faktoren erwies sich ebenfalls als signifikant (*BZ* × *Lag* × *Seitigkeit* × *T2-Seite*:  $F_{2,22} = 3,7$ ,  $p = 0,043$ ). Betrachtet man *Abbildung 3.1* so lässt sich vermuten, dass diese Vierfachinteraktion durch einen Unterschied beider Teilerperimente zustande kommt. In der *Abbildung* ist ersichtlich, dass sich in Lag 1 bei der T1-T2-Kombination, in der T1 rechts und T2 links erschienen, die Identifikationsquoten beider Teilerperimente deutlich unterscheiden. Tatsächlich ist dies die Ursache der vierfachen Interaktion. Spaltet man diese nach Lag auf, so zeigt sich, dass die sich ergebende Interaktion nur in Lag 1 signifikant ist (*BZ* × *Seitigkeit* × *T2-Seite in Lag 1*:  $F_{1,11} = 6,0$ ,  $p = 0,03$ ; *in Lag 3*:  $F_{1,11} = 0,02$ , *n.s.*; *in Lag 5*:  $F_{1,11} = 2,0$ , *n.s.*). In Lag 1 ist der Unterschied zwischen beiden Teilerperimenten in Bezug auf die T2-Seite nur bei verschiedenseitigen Zielreizen signifikant (*BZ* × *T2-Seite in Lag 1 bei gleichseitigen Zielreizen*:  $F_{1,11} = 0,2$ , *n.s.*; *bei verschiedenseitigen Zielreizen*:  $F_{1,11} = 7,0$ ;  $p = 0,02$ ). Schließlich unterscheiden sich beide Teilerperimente nur in der oben beschriebenen T1-T2-Kombination (*BZ in Lag 1 bei T1 links und T2 rechts*:  $F_{1,11} = 0,03$ , *n.s.*; *bei T1 rechts und T2 links*:  $F_{1,11} = 10,0$ ,  $p = 0,009$ ).

## 3.1.1.2 Identifikation von T1

Die mittleren Identifikationsquoten des Zielreizes T1 sind in *Tabelle 3.1.* aufgeführt und in *Abbildung 3.3* dargestellt.

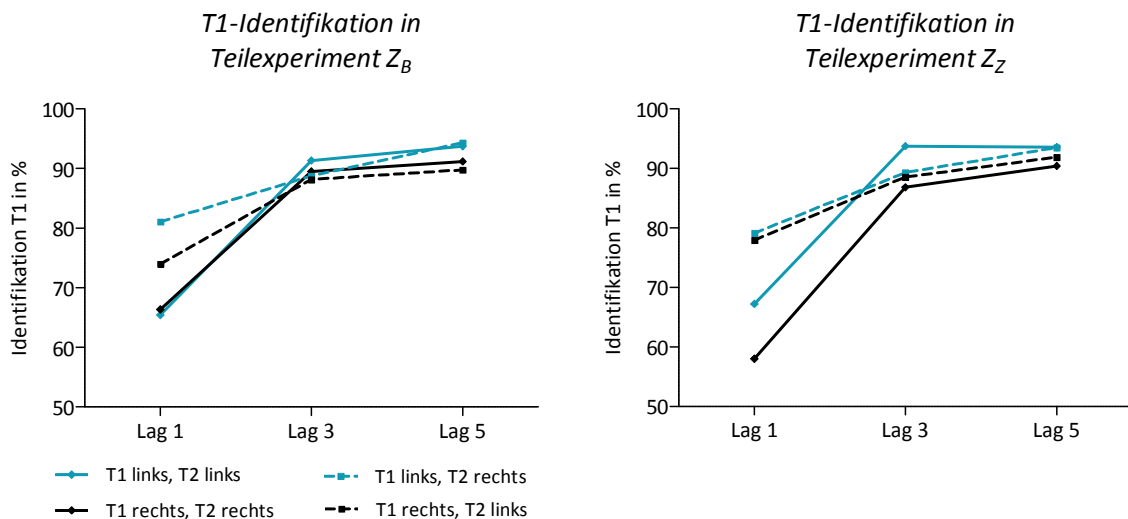


Abbildung 3.3 Quoten der T1-Identifikation der vier T1-T2-Kombinationen. Im linken Koordinatensystem sind die Ergebnisse des Teilexperimentes Z<sub>B</sub> (Zielreize waren Buchstaben, Distraktoren waren Ziffern) dargestellt, im rechten die des Teilexperimentes Z<sub>Z</sub> (Zielreize waren Ziffern, Distraktoren waren Buchstaben). Durchgezogene Linien stellen T1-T2-Kombinationen dar, bei denen beide Zielreize auf derselben Seite auftauchten, gestrichelte Linien T1-T2-Kombinationen, bei denen die Zielreize auf verschiedenen Seiten erschienen.

Tendenziell war die Identifikationsquote des linken T1 höher als die des rechten T1 (*T1-Seite*:  $F_{1,11} = 3,8$ ,  $p = 0,076$ ). Allerdings war dies nur in Teilexperiment Z<sub>Z</sub> der Fall und in diesem nur, wenn T1 und T2 auf derselben Seite erschienen (*T1-Seite* × *BZ*:  $F_{1,11} = 0,3$ ,  $p = 0,6$ ; *T1-Seite* bei Z<sub>Z</sub>:  $F_{1,11} = 7,2$ ,  $p = 0,02$ ; *T1-Seite* bei Z<sub>B</sub>:  $F_{1,11} = 1,1$ ,  $p = n.s.$ ; *BZ* × *Seitigkeit* × *T1-Seite*:  $F_{1,11} = 7,1$ ,  $p = 0,022$ ; *Seitigkeit* × *T1-Seite* für Z<sub>Z</sub>:  $F_{1,11} = 15,6$ ;  $p = 0,002$ ; für Z<sub>B</sub>:  $F_{1,11} = 1,9$ ,  $n.s.$ ; *T1-Seite* in gleichseitiger T1-T2-Kombination bei Z<sub>Z</sub>:  $F_{1,11} = 13,5$ ,  $p = 0,004$ ; in verschiedenseitiger T1-T2-Kombination bei Z<sub>Z</sub>:  $F_{1,11} = 0,7$ ,  $n.s.$ ).

Die Identifikationsquote war in den längeren Lags 3 und 5 höher als in Lag 1 (*Lag*:  $F_{2,22} = 209,9$ ,  $p < 0,001$ ). In Lag 1 war die Identifikationsquote des T1 geringer, wenn die Zielreize auf der gleichen Seite erschienen, verglichen mit verschiedenseitigem Erscheinen (*Seitigkeit*:  $F_{1,11} = 25,5$ ,  $p < 0,001$ ; *Lag* × *Seitigkeit*:  $F_{2,22} = 50,2$ ,  $p < 0,001$ ; *Seitigkeit* in Lag 1:  $F_{1,11} = 51,0$ ;  $p < 0,001$ ; in Lag 3:  $F_{1,11} = 3,4$ ,  $n.s.$ ; und in Lag 5:  $F_{1,11} = 0,1$ ;  $n.s.$ ).

### 3.1.2 EEG-Komponenten

Analysiert wurden die durch T1 und T2 evozierten Komponenten N2pc und P3 sowie Visuell Evozierte Potentiale (VEPs). Im Folgenden werden signifikante Ergebnisse erläutert und die Spannungskurven der Komponenten gezeigt. Die Topografie der einzelnen Komponenten findet sich in *Kapitel 3.1.2.4*.

#### 3.1.2.1 N2pc

##### 3.1.2.1.1 Durch T2 evozierte N2pc

Die *Abbildungen 3.5* und *3.6* auf den folgenden Seiten zeigen die grafische Darstellung der durch T2 evozierten N2pc. Die Spannungsdaten dieser Graphen wurden durch die im Methodenteil beschriebene Methodik von systematisch störenden EEG-Signalen befreit (*s. Kapitel 2.1.8*). Auf eine grafische Darstellung der nicht von störenden Signalen befreiten Kurven wurde aus Platzgründen verzichtet.

#### *Amplitude*

Erstaunlicherweise war die Amplitude nach rechtem T2 größer als nach linkem T2 (*T2-Seite:  $F_{1,11} = 13,0$ ,  $p = 0,004$* ). Dies lässt sich in den *Abbildungen 3.5* und *3.6* gut nachvollziehen, wenn man den blauen mit dem schwarzen Graphen im selben Koordinatensystem vergleicht<sup>17</sup>. Allerdings war dies nur in Lag 3 und 5 und nicht in Lag 1 der Fall (*Lag  $\times$  T2-Seite:  $F_{2,22} = 15,0$ ,  $p < 0,001$ ; T2-Seiteneffekt in Lag 1:  $F_{1,11} = 2,7$ , *n.s.*; in Lag 3:  $F_{1,11} = 10,0$ ,  $p = 0,009$ ; und in Lag 5:  $F_{1,11} = 23,4$ ,  $p < 0,001$ ). Die Amplitude war in Lag 3 und Lag 5 größer als in Lag 1 (*Lag:  $F_{2,22} = 6,7$ ,  $p = 0,006$* ), allerdings nur bei rechtem T2 (*Lag  $\times$  T2-Seite:  $F_{2,22} = 15,0$ ,  $p < 0,001$ ; Lag-Effekt für rechten T2:  $F_{2,22} = 21,7$ ,  $p < 0,001$ ; für linken T2:  $F_{2,22} = 0,04$ , *n.s.*). Bei verschiedenseitigen Zielreizen war sie ebenfalls größer (*Seitigkeit:  $F_{1,11} = 5,1$ ,  $p = 0,045$* ), verglichen mit dem gleichseitigen Erscheinen von T1 und T2.**

Es gab keinen Effekt des Reizmaterials (*alle Effekte von BZ:  $F < 2,5$ ,  $p > 0,10$* ).

---

<sup>17</sup> Allerdings hat man sich aufgrund der Auswertungsmethode einen der beiden Graphen gespiegelt vorzustellen (*s. Kapitel 2.1.8*).

### Latenz

Die Latenz war kürzer, wenn T2 auf der linken Seite erschien als wenn er auf der rechten Seite auftauchte (*T2-Seite*:  $F_{1,11} = 10,9$ ,  $p = 0,007$ ). Dies war allerdings nur in Telexperiment  $Z_Z$  der Fall (227 ms vs. 263 ms)<sup>18</sup>. In Telexperiment  $Z_B$  lag kein signifikanter Effekt vor (250 ms vs. 253 ms), (*T2-Seite*  $\times$  *BZ*:  $F_{1,11} = 22,2$ ,  $p < 0,001$ ; *T2-Seite bei  $Z_Z$* :  $F_{1,11} = 32,9$ ,  $p < 0,001$ ; *T2-Seite bei  $Z_B$* :  $F_{1,11} = 0,04$ , *n.s.*). Dieses Ergebnis ist insofern von Bedeutung, als es die Asymmetrie zwischen beiden Hemisphären und zwischen beiden Telexperimenten in der Identifikation des T2 spiegelt (s. *Abbildung 3.4*). Die kürzere Latenz des linken T2 in Telexperiment  $Z_Z$  ist in *Abbildung 3.6* deutlich erkennbar. Man beachte, dass der blaue Graph (T2 links) seinen Gipfel früher erreicht als der schwarze Graph (T2 rechts).

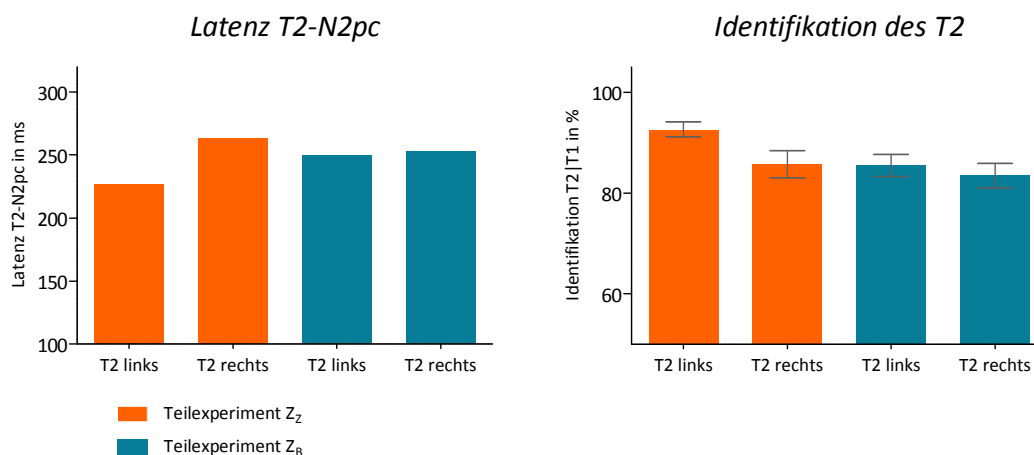


Abbildung 3.4 Vergleich der Latenz der T2-N2pc mit den Quoten der T2-Identifikation bei korrekter Angabe des T1 (T2|T1). Als Fehlerbalken sind im rechten Koordinatensystem die Standardabweichungen des Mittelwertes angegeben.

<sup>18</sup> Es ist nicht möglich die Standardabweichung anzugeben, da bei der Ermittlung der Latenzen die Jackknife-Methode angewendet wurde (s. *Kapitel 2.1.8*). Durch diese Methode wurde die Varianz drastisch verringert.

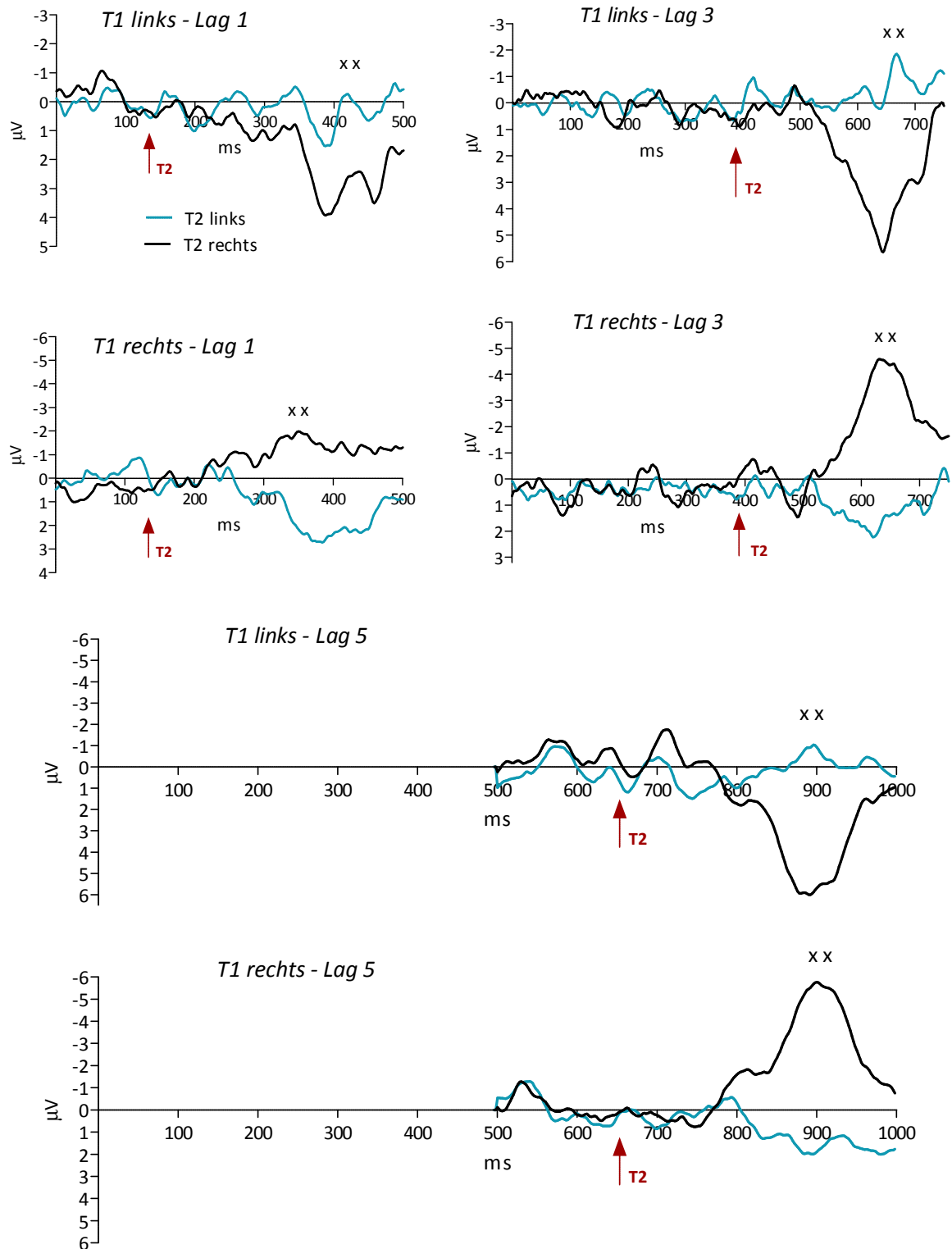


Abbildung 3.5

Dargestellt sind die Graphen der durch T2 evozierten Komponente N2pc im Teilerperiment Z<sub>b</sub>. Gezeigt werden die Mittelwerte der Spannungsdaten über alle Versuchspersonen. Zum Zeitpunkt 0 ms erschien T1. Die Daten jedes einzelnen Graphen bilden sich aus der Differenz der Spannungswerte der Elektroden PO8 und PO7. In den Koordinatensystemen, die T1-T2-Kombinationen darstellen, in denen T1 links erschien, errechnen sich die Daten beider Graphen aus PO8 – PO7. In den Koordinatensystemen, die T1-T2-Kombinationen darstellen, in denen T1 rechts erschien, errechnen sich die Daten beider Graphen umgekehrt (PO7 - PO8). Diese Berechnungsmethode führt dazu, dass man sich jeweils den Graphen, dessen Gipfel unterhalb der Abszisse erscheint, invertiert vorstellen muss. Dies ist gewollt, da durch diese Darstellungsweise die Komponente N2pc durch das Auseinanderdriften beider Graphen deutlich sichtbar wird. In Lag 5 wurden die Spannungswerte zum Zwecke der Übersichtlichkeit in der Zeitspanne von 0 ms bis 500 ms genullt. Bei sämtlichen Graphen wurden bereits systematisch störende EEG-Signale entfernt (s. Kapitel 2.1.8). Der rote Pfeil symbolisiert den Zeitpunkt des Erscheinens von T2. Die zwei Kreuze markieren die durch T2 evozierte N2pc.

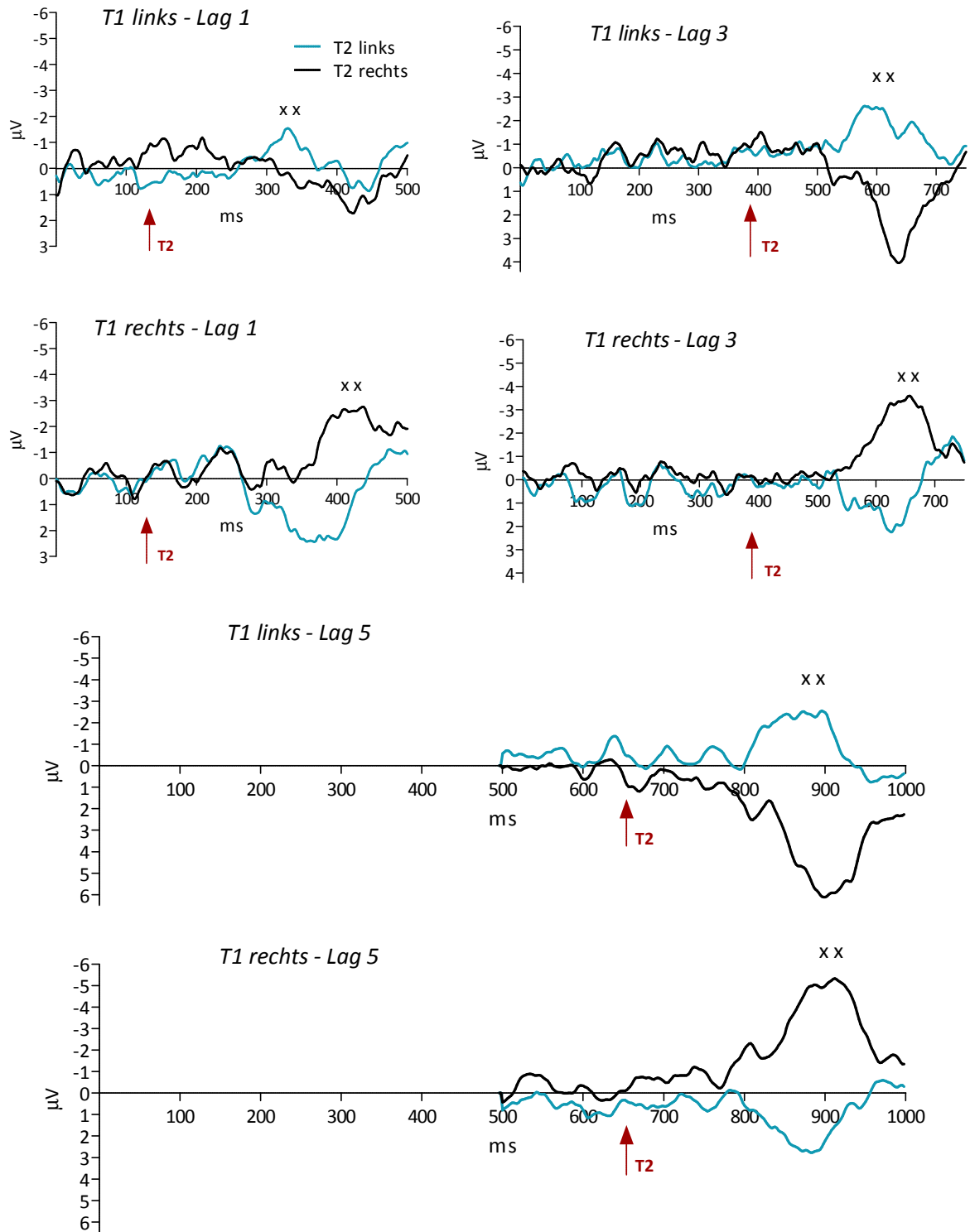


Abbildung 3.6 Dargestellt sind die Graphen der durch T2 evozierten Komponente N2pc im Teilerperiment Z<sub>2</sub>. Gezeigt werden die Mittelwerte der Spannungsdaten über alle Versuchspersonen. Zum Zeitpunkt 0 ms erschien T1. Der rote Pfeil symbolisiert den Zeitpunkt des Erscheinens von T2. Die zwei Kreuze markieren die durch T2 evozierte N2pc. Für weitere Erläuterungen siehe Legende der *Abbildung 3.5*.

## 3.1.2.1.2 Durch T1 evozierte N2pc

*Amplitude*

Wenn T1 auf der rechten Seite erschien, war die Amplitude größer, als wenn er auf der linken Seite auftauchte (*T1-Seite*:  $F_{1,11} = 5,1$ ,  $p = 0,045$ ). Da die gekreuzte Interaktion zwischen dem Teilexperiment (BZ) und der T1-Seite tendenziell signifikant ist ( $BZ \times T1\text{-Seite}$ :  $F_{1,11} = 3,3$ ,  $p = 0,1$ ) und auch rein optisch der Unterschied der beiden Amplituden von linkem und rechtem T1 im Teilexperiment  $Z_Z$  sehr gering ist (*s. Abbildung 3.7*), wurde die Signifikanz für die T1-Seite getrennt für beide Teilexperimente berechnet. Hierbei stellte sich heraus, dass die Amplitude nur in Teilexperiment  $Z_B$  nach rechtem T1 größer war als nach linkem T1. In Teilexperiment  $Z_Z$  war dieser Effekt nicht signifikant (*T1-Seite bei  $Z_B$* :  $F_{1,11} = 8,3$ ,  $p = 0,015$ ; *T1-Seite bei  $Z_Z$* :  $F_{1,11} = 1,7$ ,  $p = n.s.$ ). Dies zeigt sich in *Abbildung 3.7*. Während im linken Koordinatensystem deutlich erkennbar ist, dass der schwarze Graph (T1 rechts) eine größere Amplitude aufweist als der blaue Graph (T1 links), lässt sich im rechten Koordinatensystem kaum ein Unterschied zwischen den Amplituden beider Graphen ausmachen.

*Latenz*

Es lag kein signifikanter Effekt vor.

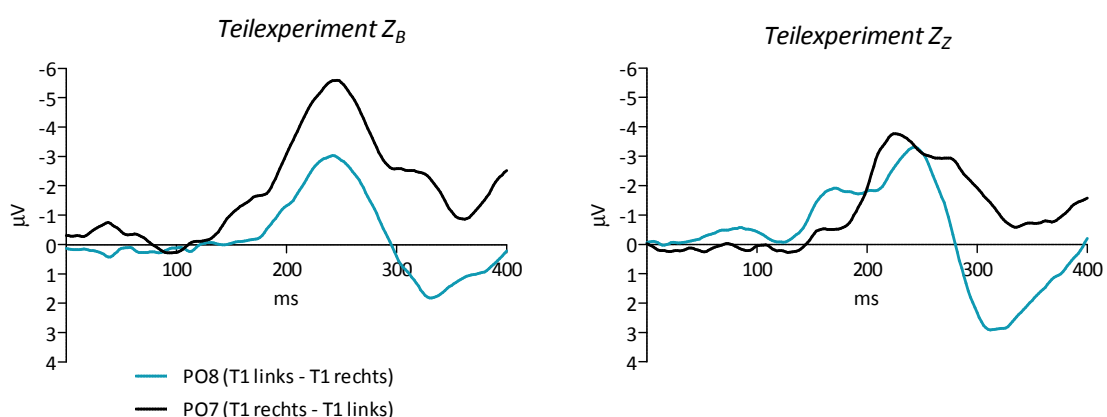


Abbildung 3.7 Graphen der durch T1 evozierten N2pc. Die N2pc nach linkem T1 wurde an PO8 abgeleitet, die N2pc nach rechtem T1 an PO7. Gezeigt werden Mittelwerte der Spannungsdaten über alle Versuchspersonen. Im linken Koordinatensystem sind die Ergebnisse des Teilexperimentes  $Z_B$  (Zielreize waren Buchstaben, Distraktoren waren Ziffern) dargestellt, im rechten die des Teilexperimentes  $Z_Z$  (Zielreize waren Ziffern, Distraktoren waren Buchstaben). Zum Zeitpunkt 0 ms erschien T1.

## 3.1.2.2 P3

## 3.1.2.2.1 Durch T2 evozierte P3

Die Berechnung der Amplitude der durch T2 evozierten P3 erfolgte nach Durchführung einer Grundlinienkorrektur, da sich ihr Startpunkt auf unterschiedlichen Höhen in Bezug zur Nulllinie befand (*s. Kapitel 2.1.8*).

*Amplitude*

Die Amplitude zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen rechts- und linksseitigem Erscheinen von T2 (*T2-Seite:  $F_{1,11} = 2,5$ ,  $p = 0,14$* ). Allerdings war die Amplitude in Teilexperiment  $Z_Z$  größer als in Teilexperiment  $Z_B$  (*BZ:  $F_{1,11} = 4,8$ ,  $p = 0,05$* ). In *Abbildung 3.8* ist dieser Effekt erkennbar, insbesondere beim Vergleich der schwarzen Graphen (Lag 1) in beiden Koordinatensystemen. Ebenfalls signifikant größer war die Amplitude in den Lags 3 und 5 verglichen mit Lag 1 (*Lag:  $F_{2,22} = 26,3$ ,  $p < 0,001$* ), mit Ausnahme der T1-T2-Kombination, in der T1 und T2 auf der rechten Seite erschienen (*Lag  $\times$  Seitigkeit  $\times$  T2-Seite:  $F_{2,22} = 3,7$ ,  $p = 0,05$ ; Lag-Effekt für T1 und T2 links:  $F_{2,22} = 15,3$ ,  $p < 0,001$ ; für T1 links und T2 rechts:  $F_{2,22} = 16,3$ ,  $p < 0,001$ ; für T1 und T2 rechts:  $F_{2,22} = 3,5$ ,  $p = 0,07$ ; und für T1 rechts und T2 links:  $F_{2,22} = 22,4$ ,  $p < 0,001$* ).

*Latenz*

Die Latenz der P3 war nach linkem T2 kürzer als nach rechtem T2 ( $455 \pm 40$  ms vs.  $475 \pm 43$  ms), (*T2-Seite:  $F_{1,11} = 10,1$ ,  $p = 0,009$* ). Außerdem war in Teilexperiment  $Z_B$  die Latenz in Lag 1 kürzer als in Lag 3 und 5 (*Lag:  $F_{2,22} = 9,8$ ,  $p = 0,001$ ; BZ  $\times$  Lag:  $F_{2,22} = 4,6$ ,  $p = 0,022$ ; Lag-Effekt für  $Z_B$ :  $F_{2,22} = 11,6$ ,  $p < 0,001$ ; für  $Z_Z$ :  $F_{2,22} = 2,0$ , *n.s.**).

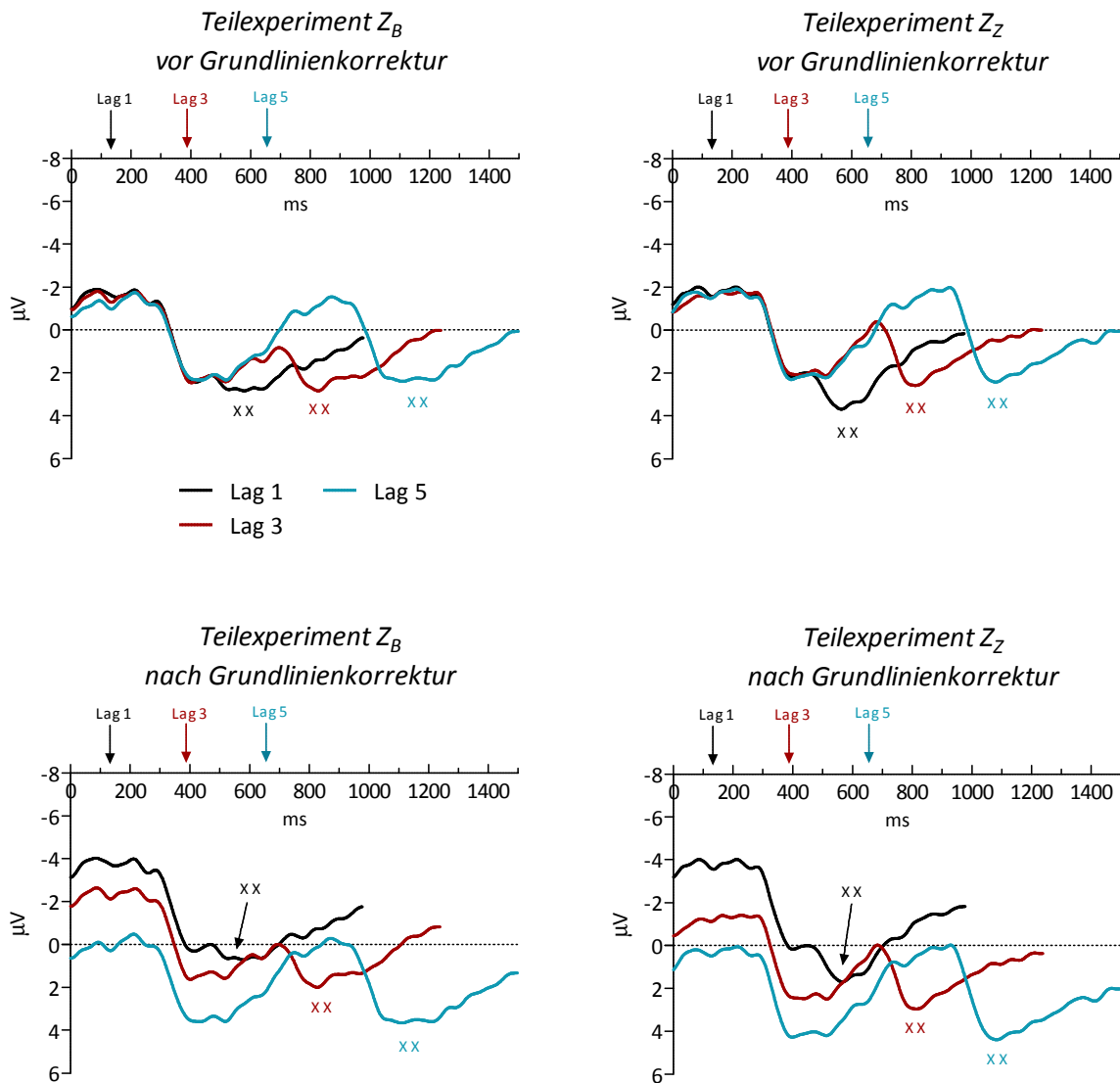


Abbildung 3.8 Graphen der Komponente P3 in den drei verschiedenen Lags. Dabei repräsentieren die Daten jedes einzelnen Lags den Mittelwert aus den vier T1-T2-Kombinationen, die in jedem Lag präsentiert werden. Gezeigt werden Mittelwerte der Spannungsdaten über alle Versuchspersonen. Die Spannungswerte wurden an der Elektrode Pz abgeleitet. In den beiden oberen Koordinatensystemen sind die Spannungsdaten vor Grundlinienkorrektur, in den beiden unteren nach Grundlinienkorrektur (s. Kapitel 2.1.8) dargestellt. In den linken Koordinatensystemen werden jeweils die Ergebnisse des Teilexperimentes Z<sub>B</sub> (Zielreize waren Buchstaben, Distraktoren waren Ziffern) gezeigt, in den rechten die des Teilexperimentes Z<sub>Z</sub> (Zielreize waren Ziffern, Distraktoren waren Buchstaben). Zum Zeitpunkt 0 ms erschien T1. Die Pfeile symbolisieren den Zeitpunkt des Erscheinens von T2, der je nach Lag differierte. Die zwei Kreuze markieren die durch T2 evozierte P3.

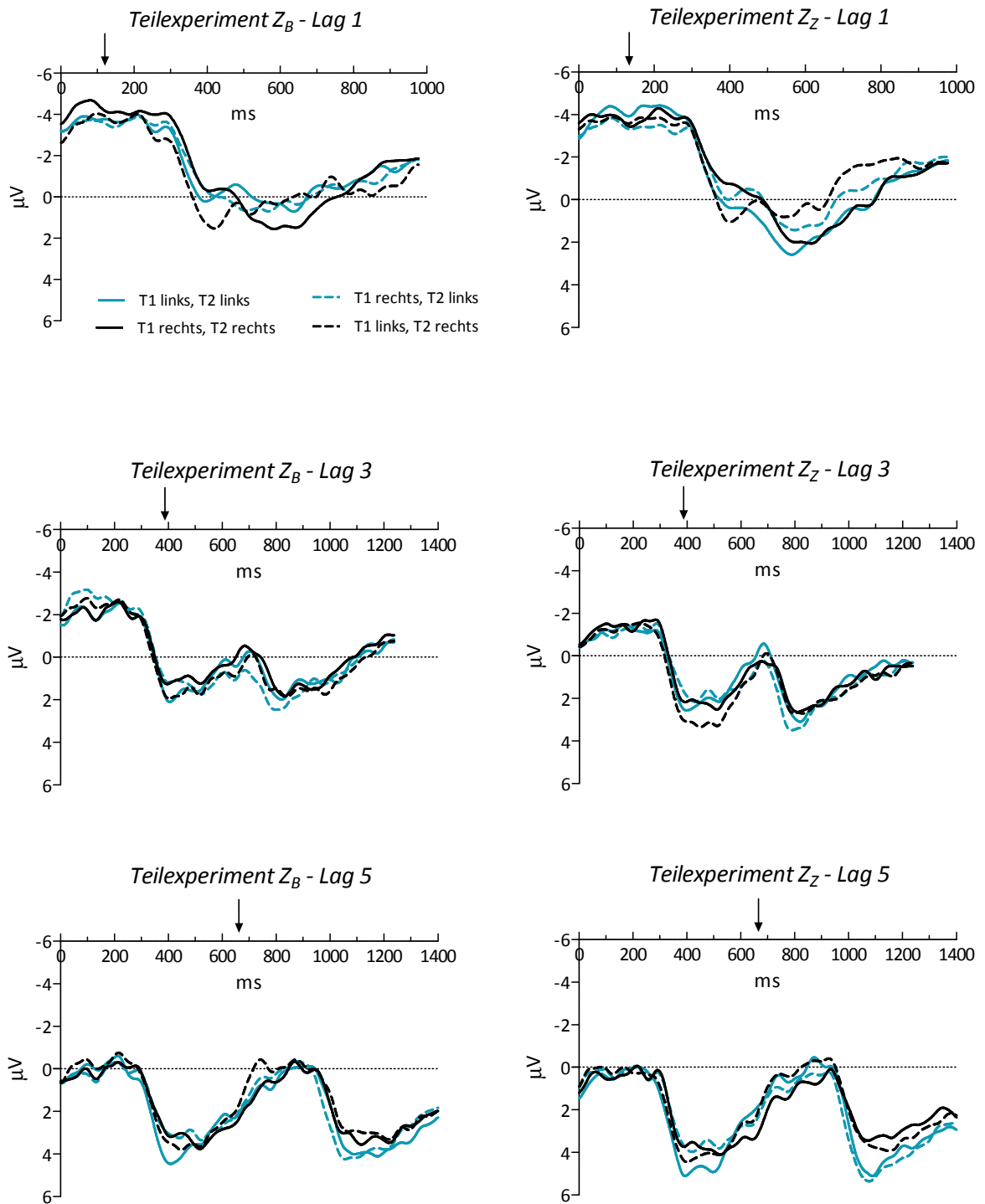


Abbildung 3.9 Graphen der durch T2 evozierten Komponente P3 in den drei verschiedenen Lags. Gezeigt werden Mittelwerte der Spannungsdaten über alle Versuchspersonen. Die Spannungswerte wurden an der Elektrode Pz abgeleitet. Diese Daten sind bereits grundlinienkorrigiert. Dargestellt sind die Ergebnisse der Teilexperimente  $Z_B$  und  $Z_Z$ . Zum Zeitpunkt 0 ms erschien T1. Die schwarzen Pfeile symbolisieren den Zeitpunkt des Erscheinens von T2.

## 3.1.2.2.2 Durch T1 evozierte P3

*Amplitude*

Die Amplitude war größer, wenn T1 links auftauchte, als wenn er auf der rechten Seite erschien ( $T1\text{-Seite: } F_{1,11} = 5,4, p = 0,04$ ). Dies lässt sich in *Abbildung 3.10* nachvollziehen. In der Zeitspanne, in der P3 gemessen wurde (300 – 500 ms), bewegt sich der blaue Graph (T1 links) in einem positiveren Bereich als der schwarze Graph (T1 rechts).

*Latenz*

Es lag kein signifikanter Effekt vor.

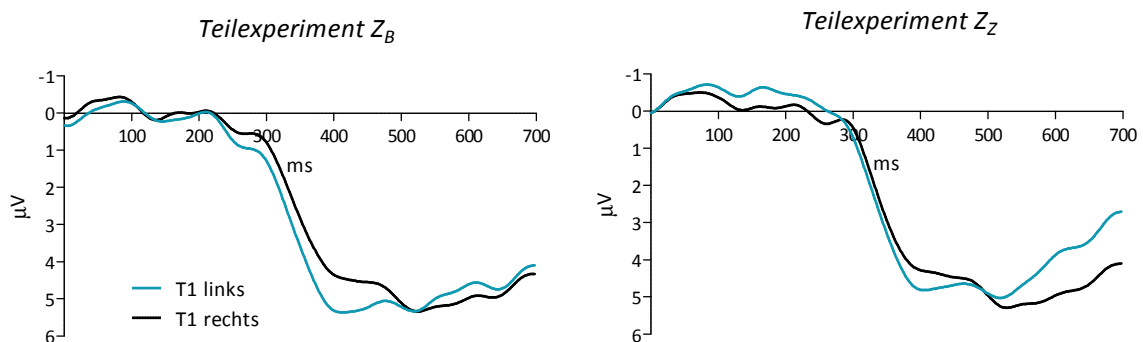


Abbildung 3.10 Graphen der Komponente P3, die durch einen rechten T1 (schwarzer Graph) oder durch einen linken T1 (blauer Graph) evoziert wurden. Gezeigt werden Mittelwerte der Spannungsdaten über alle Versuchspersonen. Dargestellt sind die Spannungswerte der Elektrode Pz. Im linken Koordinatensystem werden die Ergebnisse des Teilexperimentes Z<sub>B</sub> gezeigt, im rechten die des Teilexperimentes Z<sub>Z</sub>. Zum Zeitpunkt 0 ms erschien T1.

## 3.1.2.3 Visuell Evozierte Potentiale

Gemessen durch ihre optimale Cross-Korrelation waren die beiden VEP-Spannungskurven weder in Telexperiment  $Z_B$  noch in Telexperiment  $Z_Z$  gegeneinander versetzt; es gab demnach keine Latenzunterschiede von linker und rechter Hemisphäre (Bei  $Z_B$ :  $t_{11} = 1,5$ ,  $p = 0,16$ ; bei  $Z_Z$ :  $t_{11} = 1,9$ ,  $p = 0,084$ ).

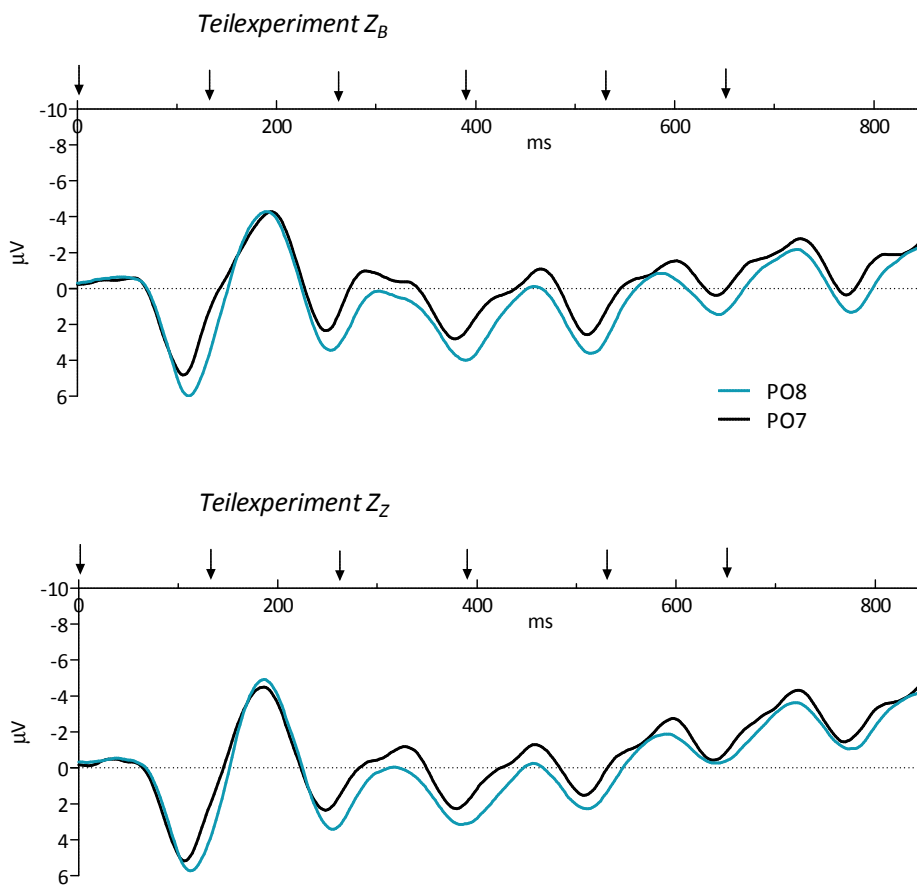


Abbildung 3.11 Dargestellt sind die Graphen der VEPs der linken (PO7) und rechten Hemisphäre (PO8). Gezeigt werden Mittelwerte der Spannungsdaten über alle Versuchspersonen. Im oberen Koordinatensystem sind die Ergebnisse des Telexperimentes  $Z_B$  dargestellt, im unteren die des Telexperimentes  $Z_Z$ . Die schwarzen Pfeile symbolisieren den Zeitpunkt des Erscheinens der fünf ersten Stimuli, die jeweils P1 und N1 der nachfolgenden VEPs evozierten.

### 3.1.2.4 Topographie der Komponenten aus Experiment 1

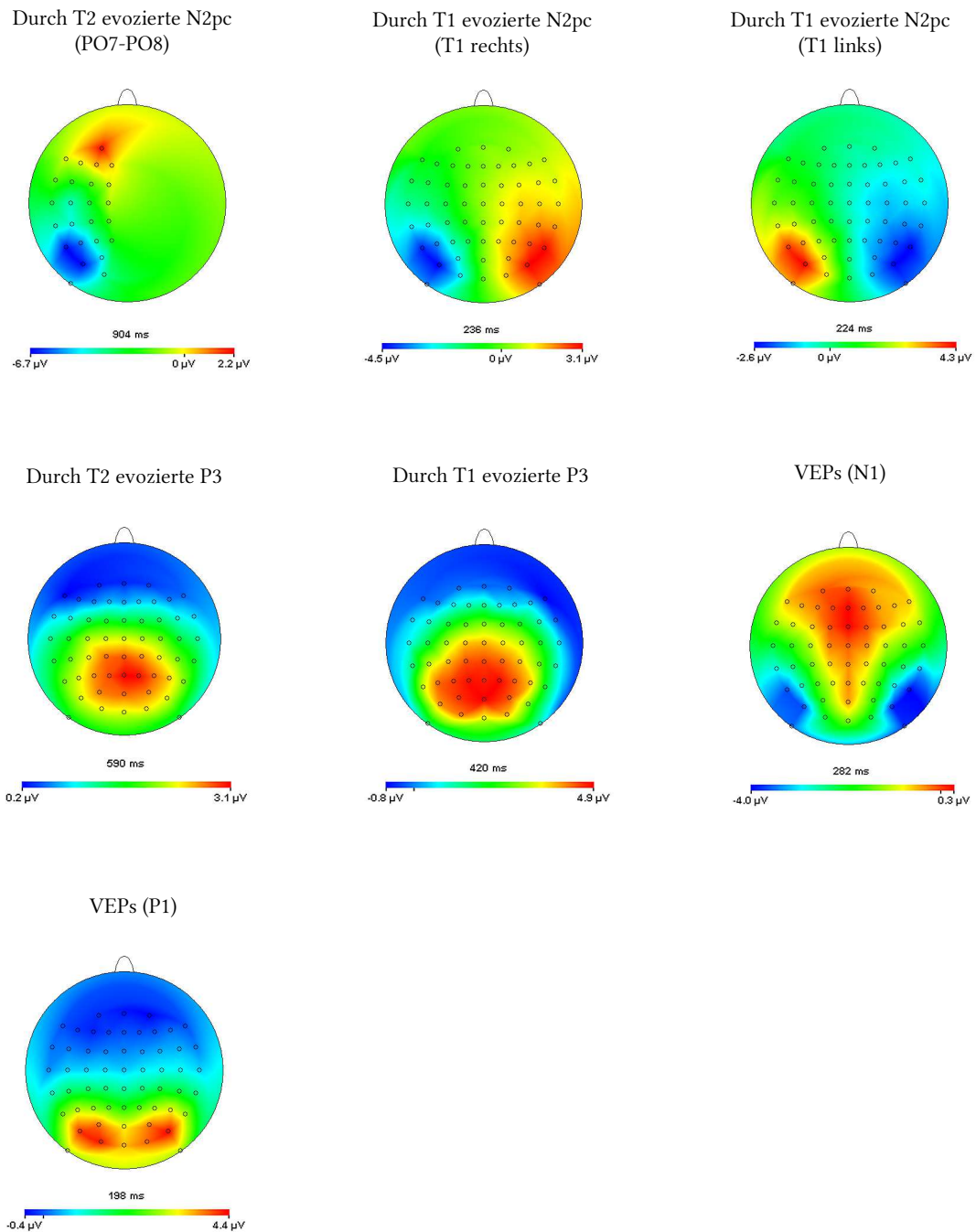


Abbildung 3.12 Exemplarische Darstellung der topografischen Verteilung der Spannung über den einzelnen Elektroden (für die genaue Bezeichnung der einzelnen Elektroden s. *Kapitel 2.1.6*). In der Legende unterhalb jeder Topografie ist die Zeit aufgetragen, zu der diese erstellt wurde (der Zeitpunkt 0 ms liegt 100 ms vor dem Erscheinen von T1) sowie die Farbkodierung des jeweiligen Spannungsverlaufs. Die Tatsache, dass bei der T2-N2pc nur die Hälfte der Elektroden dargestellt sind, ist der Auswertungsmethode dieser Komponente geschuldet.

## 3.2 Experiment 2

Wie in der Ergebnisdarstellung des Experimentes 1 werden im Folgenden nur die signifikanten Effekte näher beschrieben. Eine tabellarische Darstellung der Signifikanzen sämtlicher Effekte erfolgt im Anhang (s. Tabellen 7.3 und 7.4).

### 3.2.1 Identifikation der Zielreize

#### 3.2.1.1 Identifikation von T2

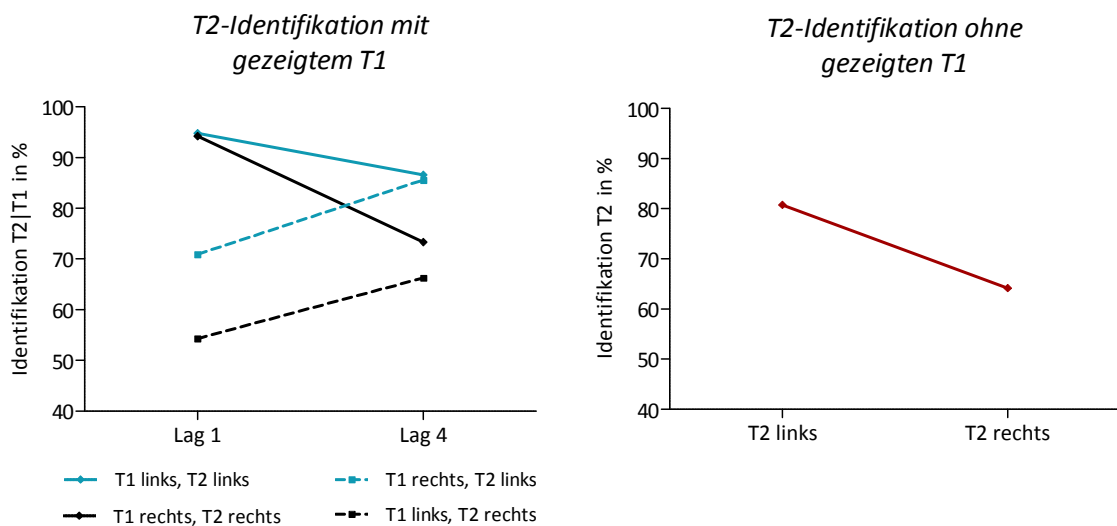


Abbildung 3.13 Dargestellt sind die Identifikationsquoten der T2-Identifikation. Im linken Koordinatensystem werden die Ergebnisse der Durchgänge gezeigt, in denen sowohl T1 als auch T2 erschienen. Hier werden die Identifikationsquoten des T2 in den vier T1-T2-Kombinationen, bei jeweils korrekt angegebenen T1 (T2|T1) gezeigt. Durchgezogene Linien stellen T1-T2-Kombinationen dar, bei denen beide Zielreize auf derselben Seite auftauchten, gestrichelte Linien T1-T2-Kombinationen, bei denen die Zielreize auf verschiedenen Seiten erschienen. Im rechten Koordinatensystem sind die Ergebnisse der Durchgänge dargestellt, in denen nur T2 erschien.

Lag	1				4				Nur T1 oder T2			
	Gleich		Verschieden		Gleich		Verschieden		Nur T1		Nur T2	
	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R
T2 T1 bzw. T2	95 (10)	94 (7)	71 (24)	54 (20)	87 (20)	73 (25)	86 (16)	66 (26)			81 (20)	64 (22)
T1	85 (11)	88 (13)	81 (14)	82 (16)	82 (14)	82 (14)	81 (15)	81 (18)	83 (13)	82 (15)		

Tabelle 3.2 In dieser Tabelle sind die Mittelwerte der T2-Identifikation bei korrektem T1 (T2|T1) (obere Zeile) und der T1-Identifikation (untere Zeile) für die verschiedenen T1-T2-Kombinationen in den beiden Lags dargestellt. Außerdem werden die T1- und T2-Identifikationsquoten der Durchgänge gezeigt, in denen entweder nur T1 oder nur T2 erschien. Die Zeile Zielreizeite bezieht sich auf die Seite des Erscheinens des jeweiligen Zielreizes, folglich entweder auf T1 oder auf T2. *Gleich* bedeutet, dass T1 und T2 auf derselben Seite auftauchten, *Verschieden* bedeutet entsprechend, dass die beiden Zielreize auf unterschiedlichen Seiten erschienen. In Klammern ist jeweils die Standardabweichung angegeben (T1-T2-Komb. = T1-T2-Kombination, L = links, R = rechts).

Wurden T1 und T2 gezeigt, wies T2 eine höhere Identifikationsquote auf, wenn er auf der linken Seite erschien, als wenn er auf der rechten Seite auftauchte ( $84 \pm 15\%$  vs.  $72 \pm 17\%$ ; *T2-Seite*:  $F_{1,15} = 13,4$ ,  $p = 0,002$ ). Dieser Effekt war in Lag 4 stärker als in Lag 1 (*Lag*  $\times$  *T2-Seite*:  $F_{1,15} = 7,6$ ,  $p = 0,014$ ; *T2-Seiteneffekt in Lag 1*:  $F_{1,15} = 7,9$ ,  $p = 0,013$ ; *in Lag 4*:  $F_{1,15} = 15,2$ ,  $p = 0,001$ ). Außerdem war dieser Effekt größer, wenn T1 und T2 auf verschiedenen Seiten präsentiert wurden, als wenn sie auf der gleichen Seite erschienen (*Seitigkeit*  $\times$  *T2-Seite*:  $F_{1,15} = 8,0$ ,  $p = 0,013$ ; *T2-Seiteneffekt bei gleichseitigen Zielreizen*:  $F_{1,15} = 7,5$ ,  $p = 0,015$ ; *bei verschiedenseitigen Zielreizen*:  $F_{1,15} = 13,3$ ,  $p = 0,002$ ).

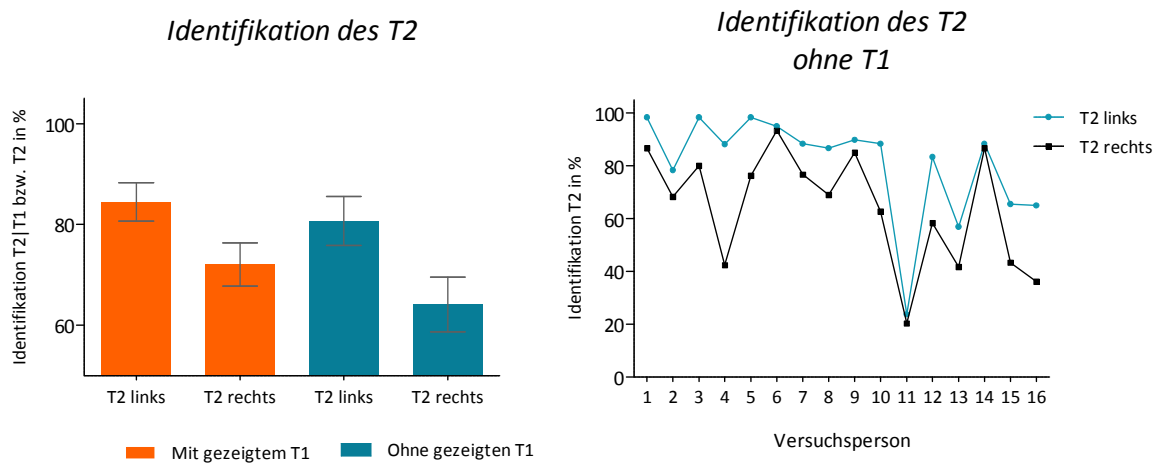


Abbildung 3.14 Im linken Koordinatensystem werden die Identifikationsquoten der T2-Identifikation bei korrekter Angabe des T1 (T2|T1) in orange und bei nicht präsentem T1 in blau gezeigt. Die Identifikationsquoten werden jeweils getrennt nach der Seite des Erscheinens von T2 (rechts/links) dargestellt. Als Fehlerbalken sind die Standardabweichungen des Mittelwertes angegeben. Im rechten Koordinatensystem werden die Identifikationsquoten des T2 ohne vorhergehenden T1 getrennt für alle 16 Versuchspersonen gezeigt.

In Lag 1 war die Identifikationsquote des T2 höher, wenn T1 ihm auf derselben Seite voranging, als wenn dieser vorher auf der gegenüberliegenden Seite erschien (*Seitigkeit*:  $F_{1,15} = 51,0$ ,  $p < 0,001$ ; *Lag  $\times$  Seitigkeit*:  $F_{1,15} = 39,0$ ,  $p < 0,001$ ; *Effekt der Seitigkeit für Lag 1*:  $F_{1,15} = 66,3$ ,  $p < 0,001$ ; *für Lag 4*:  $F_{1,15} = 2,3$ , *n.s.*).

Das aufsehenerregendste Ergebnis aber war, dass der linke T2 auch in dem Fall eine höhere Identifikationsquote aufwies als der rechte T2, wenn ihm kein T1 voranging ( $81 \pm 20\%$  vs.  $64 \pm 22\%$ ), (*T2-Seite*:  $F_{1,15} = 31,5$ ,  $p < 0,001$ ). Die markante Diskrepanz der Identifikationsquoten von rechtem und linkem T2 ohne vorangegangenen T1 zeigt sich deutlich in den *Abbildungen 3.13* und *3.14*. Dieses Phänomen ist bei jeder einzelnen der 16 Versuchspersonen zu beobachten (*s. Abbildung 3.14*).

## 3.2.1.2 Identifikation von T1

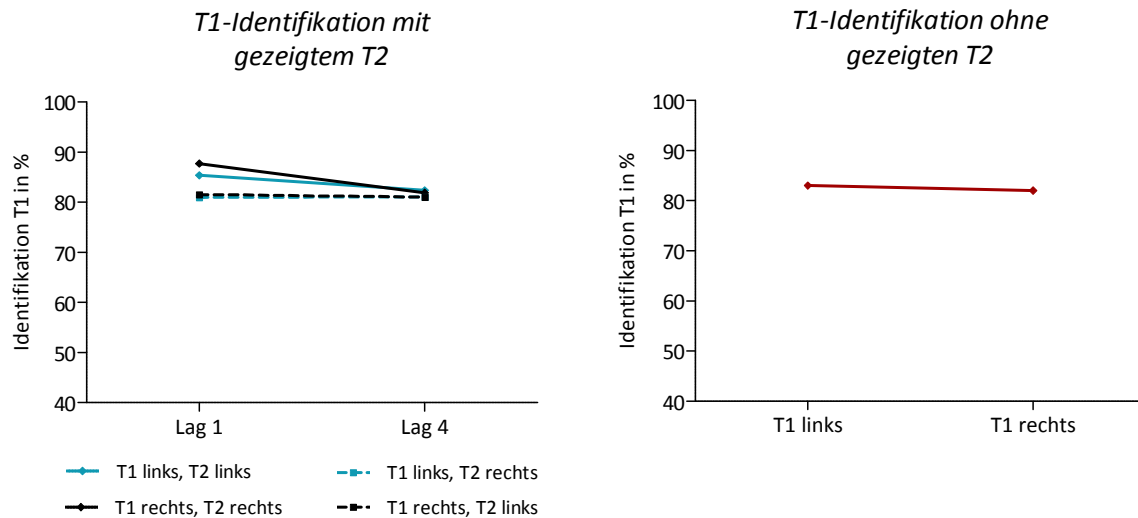


Abbildung 3.15 Dargestellt sind die Identifikationsquoten der T1-Identifikation. Im linken Koordinatensystem werden die Ergebnisse der Durchgänge gezeigt, in denen sowohl T1 als auch T2 erschienen. Hier werden die Identifikationsquoten des T1 in den vier T1-T2-Kombinationen gezeigt. Durchgezogene Linien stellen T1-T2-Kombinationen dar, bei denen beide Zielreize auf derselben Seite auftauchten, gestrichelte Linien T1-T2-Kombinationen, bei denen die Zielreize auf verschiedenen Seiten erschienen. Im rechten Koordinatensystem sind die Ergebnisse der Durchgänge dargestellt, in denen nur T1 erschien.

Wurden T1 und T2 gezeigt, bestand in diesem Experiment kein signifikanter Unterschied der T1-Identifikation zwischen den Durchgängen, in denen T1 rechts erschien und denen, in denen T1 links auftauchte (*T1-Seite*:  $F_{1,15} = 0,1$ , *n.s.*).

In Lag 1 war die Identifikationsquote von T1 höher, wenn T1 und T2 auf der gleichen Seite erschienen, als wenn sie auf verschiedenen Seiten auftauchten (*Seitigkeit*:  $F_{1,15} = 10,4$ ,  $p = 0,006$ ; *Lag  $\times$  Seitigkeit*:  $F_{1,15} = 15,2$ ,  $p = 0,001$ ; *Effekt der Seitigkeit in Lag 1*:  $F_{1,15} = 20,3$ ,  $p < 0,001$ ; *in Lag 4*:  $F_{1,15} = 0,9$ , *n.s.*). Außerdem war die Identifikationsquote des T1 in Lag 1 größer als in Lag 4, wenn T1 und T2 auf der gleichen Seite erschienen (*Lag*:  $F_{1,15} = 8,0$ ,  $p = 0,013$ ; *Lag  $\times$  Seitigkeit*:  $F_{1,15} = 15,2$ ,  $p = 0,001$ ; *Lageffekt für gleichseitige Zielreize*:  $F_{1,15} = 23,8$ ,  $p < 0,001$ ; *für verschiedenseitige Zielreize*:  $F_{1,15} = 0,03$ , *n.s.*).

Folgte dem T1 kein T2, bestand ebenfalls kein signifikanter Unterschied zwischen den Identifikationsquoten von linkem und rechtem T1 (*T1-Seite*:  $F_{1,15} = 0,1$ , *n.s.*).

Tabelle 3.2 enthält die numerischen Werte der Identifikationsquoten des Zielreizes T1.

### 3.2.2 EEG-Komponenten

Auch in Experiment 2 wurden die durch T1 und T2 evozierten Komponenten N2pc und P3 sowie Visuell Evozierte Potentiale (VEPs) analysiert. Im Folgenden werden signifikante Ergebnisse erläutert und die Spannungskurven der Komponenten gezeigt. Die Topografie der einzelnen Komponenten findet sich in *Kapitel 3.2.2.4*.

#### 3.2.2.1 N2pc

##### 3.2.2.1.1 Durch T2 evozierte N2pc

Leider war es nicht möglich die EEG-Daten aus Lag 1 auszuwerten, da nach Durchführung der Jackknife-Methode in zwei der resultierenden Mittelwerte keine gültigen Werte berechnet werden konnten. Deshalb wurden nur die Werte aus Lag 4 ausgewertet, die im Folgenden dargestellt werden. Auch hier werden nur Spannungskurven gezeigt, die bereits von systematisch störenden EEG-Signalen befreit wurden.

#### *Amplitude*

Es lag kein signifikanter Effekt vor. Die beiden Auswertungsmethoden zeigten keinen signifikanten Unterschied (*alle Effekte von Methode:  $F_{1,15} \leq 3,3$ ,  $p \geq 0,089$* ).

#### *Latenz*

Der Gipfel der N2pc nach linkem T2 erschien früher als die N2pc nach rechtem T2 (219 ms vs. 253 ms), (*T2-Seite:  $F_{1,15} = 24,2$ ,  $p < 0,001$* ). Die Standardmethode wies in Bezug auf dieses Ergebnis eine höhere Signifikanz auf (*Methode  $\times$  T2-Seite:  $F_{1,15} = 4,8$ ,  $p = 0,045$ ; T2-Seite in der Standardmethode:  $F_{1,15} = 16,8$ ,  $p = 0,001$ ; T2-Seite in der neuen Auswertungsmethode:  $F_{1,15} = 8,9$ ,  $p = 0,009$* ). Der Effekt der T2-Seite lässt sich in der *Abbildung 3.16* nachvollziehen (Koordinatensysteme 1 und 3 von oben). Der blaue Graph (T2 links) erreicht seinen Gipfel zu einem früheren Zeitpunkt als der schwarze Graph (T2 rechts). Die Interaktion zwischen Auswertungsmethode und Seitigkeit war signifikant (*Methode  $\times$  Seitigkeit:  $F_{1,15} = 5,0$ ,  $p = 0,042$* ), da die Standardmethode dazu tendierte die Latenz früher festzulegen, wenn der vorangehende T1 auf derselben Seite war als auf der anderen Seite (*Seitigkeit in der Standardmethode:  $F = 1,8$ , n.s.*) während die neue Methode dies nicht tat und sogar eine schwache gegensätzliche Tendenz zeigte (*Seitigkeit in der neuen Auswertungsmethode:  $F = 1,8$ , n.s.*).

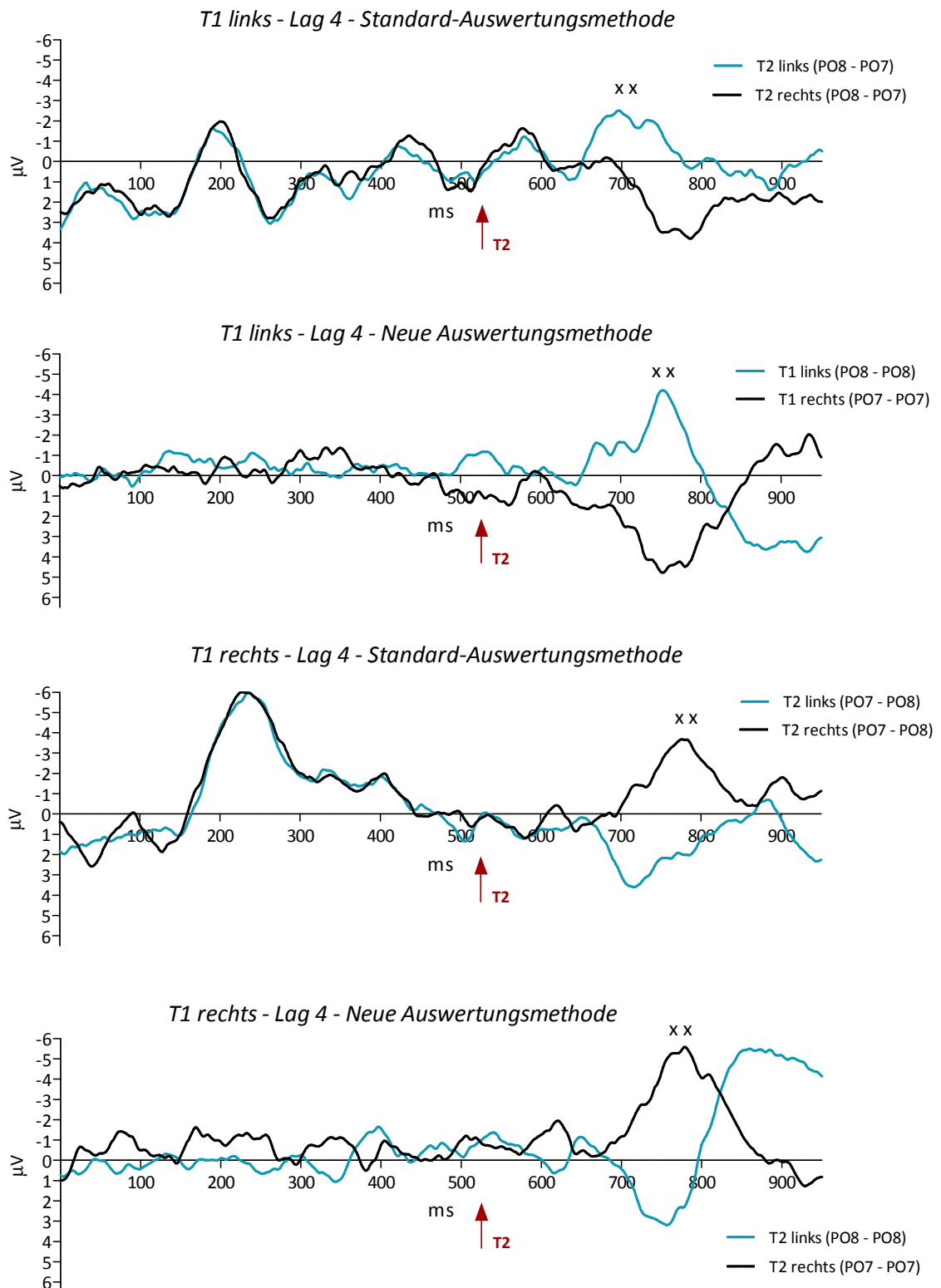


Abbildung 3.16 Dargestellt sind die Graphen der durch T2 evozierten Komponente N2pc. Gezeigt werden die Mittelwerte der Spannungsdaten über alle Versuchspersonen. Die Ableitung fand an den Elektroden PO7 und PO8 statt. Zum Zeitpunkt 0 ms erschien T1. Die spezielle Methode, die für die Berechnung der Graphen nach der Standard-Auswertungsmethode genutzt wurde, wird in der Legende der *Abbildung 3.4* erklärt (s. auch *Kapitel 2.1.8*). Diese Berechnungsmethode führt dazu, dass man sich jeweils den Graphen, dessen Gipfel unterhalb der Abszisse erscheint, invertiert vorstellen muss. Dies ist gewollt, da durch diese Darstellungsweise die Komponente N2pc durch das Auseinanderdriften beider Graphen deutlich sichtbar wird. Bei den Graphen der neuen Auswertungsmethode wurde von dem Mittelwert der Daten einer Elektrode (PO8 oder PO7) der Durchgänge, in denen T2 erschien, der Mittelwert der Durchgänge derselben Elektrode abgezogen, in denen T2 nicht auftauchte. Der Graph, dessen Gipfel unterhalb der Abszisse erscheint, wurde nachträglich invertiert. Bei sämtlichen Graphen wurde bereits systematisch störendes EEG-Rauschen entfernt (s. *Kapitel 2.1.8*). Der rote Pfeil symbolisiert den Zeitpunkt des Erscheinens von T2. Die zwei Kreuze markieren die durch T2 evozierte N2pc.

## 3.2.2.1.2 Durch T1 evozierte N2pc

*Amplitude*

Die Amplitude war größer, wenn T1 auf der rechten Seite erschien als wenn er auf der linken Seite auftauchte (*T1-Seite*:  $F_{1,15} = 10,6$ ,  $p = 0,005$ ). Dies ist in *Abbildung 3.17* deutlich erkennbar. Zwischen beiden Auswertungsmethoden zeigte sich kein signifikanter Unterschied (*alle Effekte von Methode*:  $F_{1,15} \leq 2,4$ ,  $p \geq 0,14$ ).

*Latenz*

Es lag kein signifikanter Effekt vor. Beide Auswertungsmethoden wiesen ähnliche Ergebnisse auf (*alle Effekte von Methode*:  $F_{1,15} \leq 0,3$ ,  $p \geq 0,6$ ).

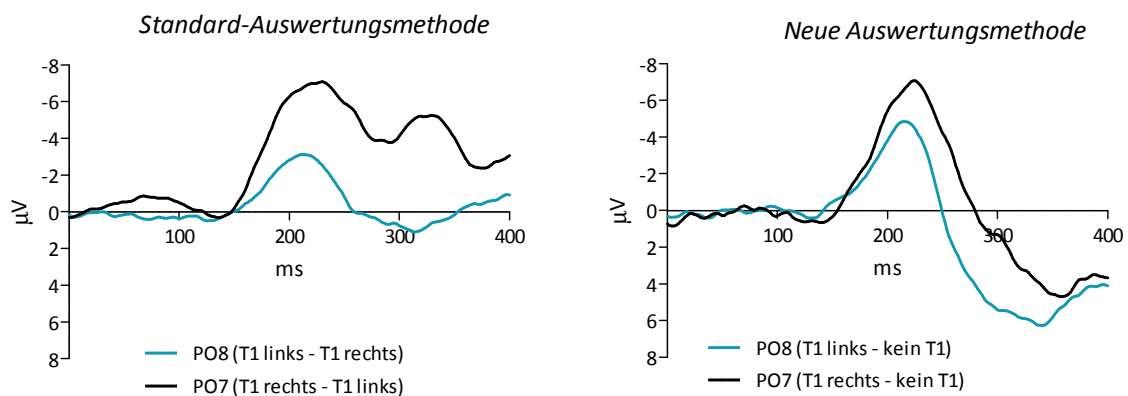


Abbildung 3.17 Graphen der durch T1 evozierten N2pc. Die N2pc nach linkem T1 wurde an PO8 abgeleitet, die N2pc nach rechtem T1 an PO7. Gezeigt werden Mittelwerte der Spannungsdaten über alle Versuchspersonen. Im linken Koordinatensystem sind die Ergebnisse der Standard-Auswertungsmethode, im rechten die Ergebnisse der neuen Auswertungsmethode dargestellt. Zum Zeitpunkt 0 ms erschien T1.

## 3.2.2.2 P3

## 3.2.2.2.1 Durch T2 evozierte P3

*Amplitude*

Zwischen beiden Auswertungsmethoden zeigte sich ein tendenzieller Unterschied (*Methode*:  $F_{1,15} = 3,2$ ,  $p = 0,092$ ). Nach der neuen Auswertungsmethode war die Amplitude größer als nach der Standardmethode. Die Amplitude war ebenfalls größer, wenn T2 auf der linken Seite auftauchte, als wenn er auf der rechten Seite erschien (*T2-Seite*:  $F_{1,15} = 21,2$ ,  $p < 0,001$ ). Allerdings war dies nur nach der neuen Auswertungsmethode der Fall, nach der Standardmethode nur als Tendenz (*Methode*  $\times$  *T2-Seite*:  $F_{1,15} = 15,9$ ,  $p = 0,001$ ; *T2-Seite in der neuen Auswertungsmethode*:  $F_{1,15} = 39,6$ ,  $p < 0,001$ ; *T2-Seite in der Standardauswertungsmethode*:  $F_{1,15} = 4,0$ ,  $p = 0,063$ ). Außerdem war die Amplitude in Lag 4 größer als in Lag 1 (*Lag*:  $F_{1,15} = 6,0$ ,  $p = 0,027$ ).

*Latenz*

Die beiden Methoden unterschieden sich (*Methode*:  $F_{1,15} = 6,6$ ,  $p = 0,022$ ). Nach der Standardmethode erschien der Gipfel früher als nach der neuen Auswertungsmethode. Kein weiterer Effekt war signifikant.

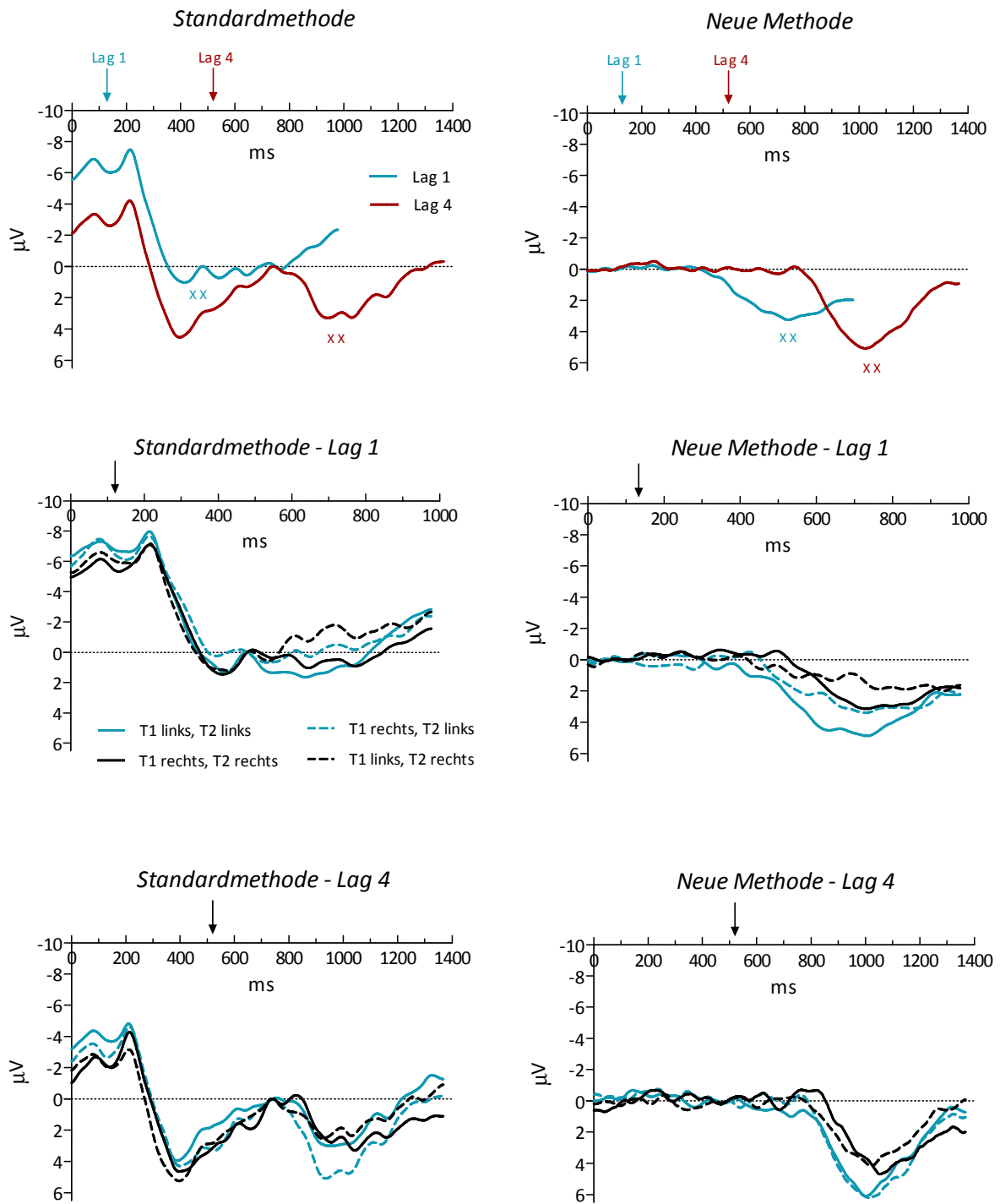


Abbildung 3.18 Dargestellt sind die Graphen der durch T2 evozierten Komponente P3 in den Lags 1 und 4. Gezeigt werden Mittelwerte der Spannungsdaten über alle Versuchspersonen. Die Spannungswerte wurden an der Elektrode Pz abgeleitet. Sämtliche Daten sind bereits grundlinienkorrigiert (s. Kapitel 2.1.8). Es werden die Ergebnisse der neuen und der alten Auswertungsmethode gegenübergestellt. Zum Zeitpunkt 0 ms erschien ein T1. Die Pfeile symbolisieren den Zeitpunkt des Erscheinens von T2. In den oberen beiden Koordinatensystemen werden die Spannungskurven von Lag 1 und Lag 4 gezeigt. Dafür wurden, getrennt für jeden Lag, Mittelwerte über die 4 T1-T2-Kombinationen gebildet. Die unteren vier Koordinatensysteme stellen diese einzelnen T1-T2-Kombinationen getrennt für die beiden Auswertungsmethoden und Lags detailliert dar. Die zwei Kreuze markieren die durch T2 evozierte P3.

## 3.2.2.2.2 Durch T1 evozierte P3

*Amplitude*

Die Amplitude war größer, wenn T1 auf der linken Seite auftauchte als wenn er auf der rechten Seite erschien (*T1-Seite*:  $F_{1,15} = 25,3$ ,  $p < 0,001$ ). Dies ist in *Abbildung 3.19* deutlich zu erkennen, wenn man die Amplituden des blauen Graphen (T1 links) und des schwarzen Graphen (T1 rechts) miteinander vergleicht (T1 rechts).

*Latenz*

Es lag kein signifikanter Effekt vor.

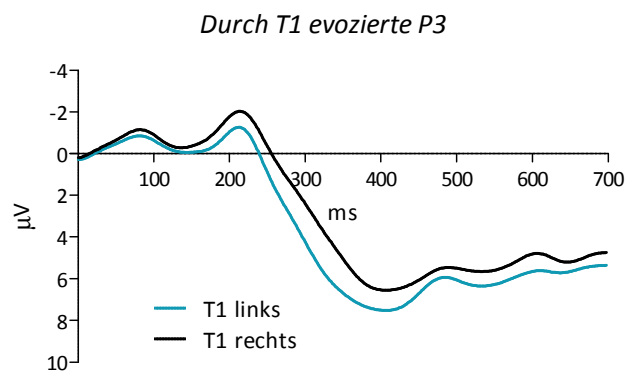


Abbildung 3.19 Graphen der Komponente P3, die durch einen linken T1 (blauer Graph) oder durch einen rechten T1 (schwarzer Graph) evoziert wurde. Gezeigt werden Mittelwerte der Spannungsdaten über alle Versuchspersonen. Dargestellt sind die Spannungswerte der Elektrode Pz. Zum Zeitpunkt 0 ms erschien T1.

## 3.2.2.3 Visuell Evozierte Potentiale

Gemessen durch ihre optimale Cross-Korrelation waren die beiden VEP-Spannungskurven nicht gegeneinander versetzt; es gab also auch in diesem Experiment keine Latenzunterschiede von linker und rechter Hemisphäre ( $t_{15} = 1,1, p = 0,29$ ).

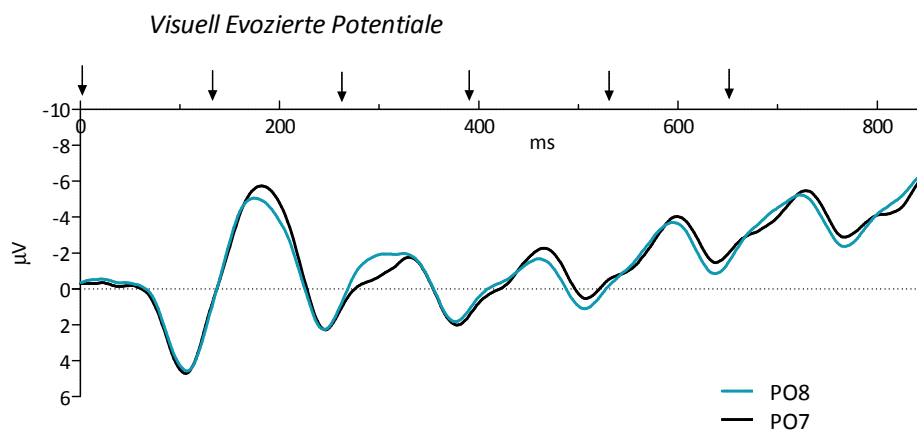


Abbildung 3.20 Dargestellt sind die Graphen der VEPs der linken (PO7) und rechten Hemisphäre (PO8). Gezeigt werden Mittelwerte der Spannungsdaten über alle Versuchspersonen. Die schwarzen Pfeile symbolisieren den Zeitpunkt des Erscheinens der fünf ersten Stimuli, die jeweils P1 und N1 der nachfolgenden VEPs evozierten.

## 3.2.2.4 Topografie der Komponenten aus Experiment 2

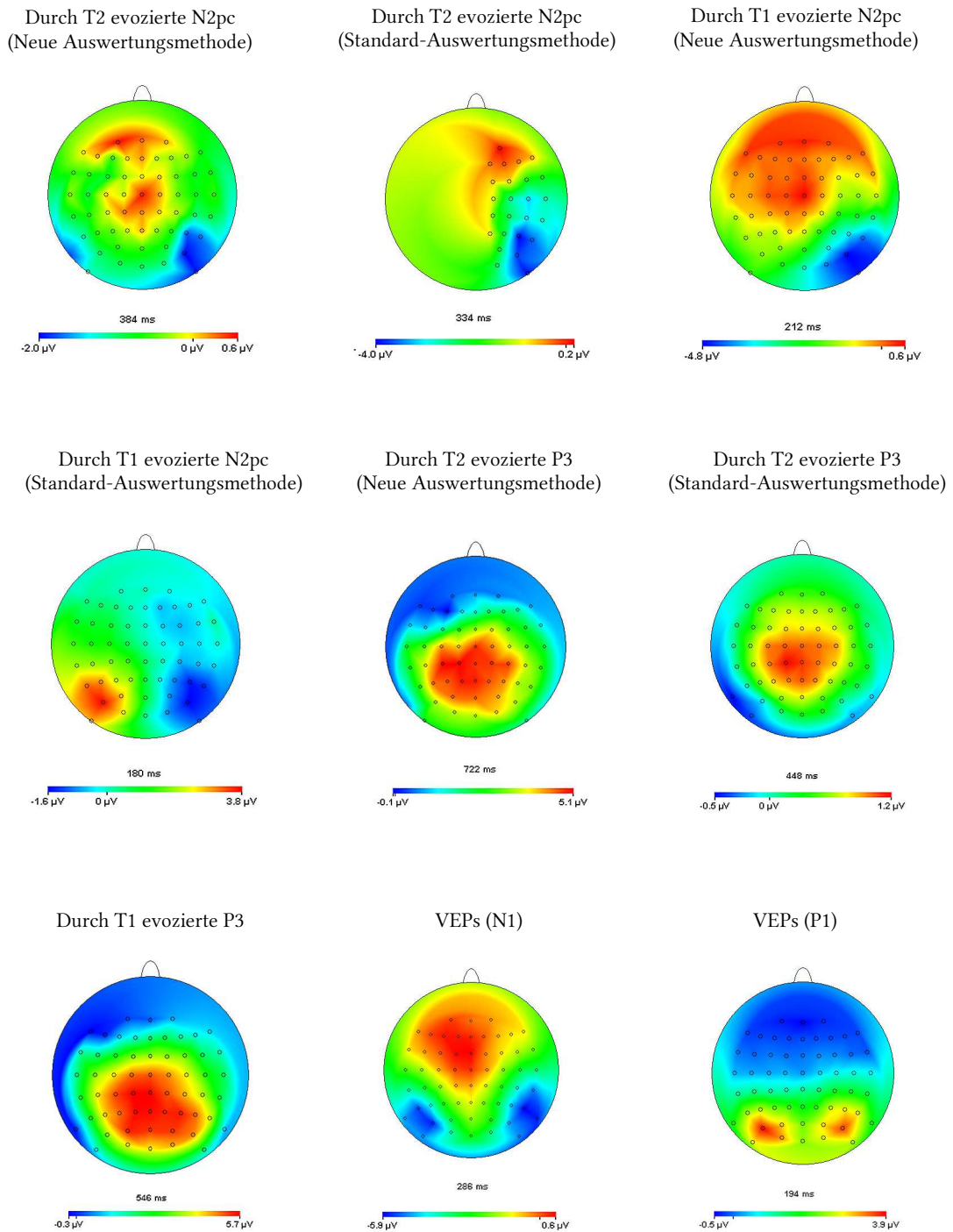


Abbildung 3.21 Exemplarische Darstellung der topografischen Verteilung der Spannung über den einzelnen Elektroden (für die genaue Bezeichnung der einzelnen Elektroden s. *Kapitel 2.1.6*). In der Legende unterhalb jeder Topografie ist die Zeit aufgetragen, zu der diese erstellt wurde (der Zeitpunkt 0 ms liegt 100 ms vor dem Erscheinen von T1) sowie die Farbkodierung des jeweiligen Spannungsverlaufs. Die Tatsache, dass bei der T2-N2pc bei der Standard-Auswertungsmethode nur die Hälfte der Elektroden dargestellt sind, ist der Auswertungsmethode dieser Komponente geschuldet. Bei der T2-N2pc und der T1-N2pc sind T1-T2-Kombinationen gezeigt, in denen T2 links erschien.

## 4 Diskussion

Wenn zwei aufeinander folgende Zielreize (T1 und T2) in zwei simultanen RSVP-Strömen aus maskierenden Distraktoren präsentiert werden, wird der zweite Zielreiz (T2) im linken visuellen Halbfeld besser identifiziert als im rechten. Dieser Effekt, hier als VLVH (Vorteil des linken visuellen Halbfeldes) bezeichnet, wird in dieser Arbeit näher untersucht. Es wurden zwei Experimente durchgeführt, in denen wir das Reizmaterial variierten (*s. Tabelle 4.1*). Außerdem leiteten wir EEG-Spannungspotentiale der Versuchspersonen ab. Dies geschah in der Hoffnung, über EEG-Korrelate weitere Einblicke in die Natur des VLVH zu erhalten.

Das entscheidende Ergebnis des Experimentes 1 ist die Tatsache, dass unter speziellen experimentellen Bedingungen der Vorteil des linken visuellen Halbfeldes (VLVH) nicht zu beobachten war. Die Latenz der durch T2 evozierten N2pc war die einzige EEG-Messgröße, welche widerspiegelte, dass in einem der beiden Telexperimente ( $Z_Z$ ) der VLVH nachgewiesen werden konnte, in dem anderen ( $Z_B$ ) jedoch nicht.

Das Hauptergebnis des Experimentes 2, in dem in bestimmten Durchgängen einzelne Zielreize nicht erschienen, ist das Auftreten des VLVH auch in der Situation, in der nur der zweite Zielreiz (T2) präsentiert wurde. Außerdem konnte gezeigt werden, dass eine in diesem Experiment neu eingeführte Auswertungsmethode insbesondere bei den beiden Komponenten T2-P3 und T1-N2pc bessere Ergebnisse zu erzielen scheint als die bisher verwendete Auswertungsmethode.

### 4.1 Identifikation der Zielreize in Experiment 1

Entgegen unserer Erwartung kam es bei den T2-Identifikationsquoten in beiden Telexperimenten zu unterschiedlichen Resultaten. Während der VLVH in Telexperiment  $Z_Z$  repliziert wurde, zeigte sich dieser in Telexperiment  $Z_B$  nicht.

Telexperiment  $Z_Z$  ähnelt hinsichtlich Distraktoren und Zielreizen stark dem Standardexperiment<sup>19</sup> [158] (*s. Tabelle 4.1*). Daher war die Replikation des VLVH in diesem Telexperiment erwartungsgemäß. Aus den dennoch bestehenden Unterschieden zwischen Experiment  $Z_Z$  und dem Standardexperiment lassen sich zwei Schlussfolgerungen ziehen.

---

<sup>19</sup> Mit dem Standardexperiment ist das Experiment von Verleger *et al.* [158] gemeint, an welchem sich die beiden Experimente dieser Arbeit methodisch orientierten. Weitere Experimente waren mit diesem Standardexperiment methodisch nahezu identisch [142][156][157].

Erstens kann aus dem Resultat, dass sich der VLVH auch bei schwarzer Färbung des T1 zeigte, geschlossen werden, dass für dessen Zustandekommen eine farbliche Signalwirkung des ersten Zielreizes nicht vonnöten ist. Auch bei fehlender farblicher Diskriminierbarkeit von Zielreizen und Distraktoren scheinen die Aufmerksamkeitsmechanismen in der Lage zu sein, beide Zielreize in ausreichend hohem Maße zu selektieren. Zweitens scheint der VLVH auch ohne *task-switch* (Aufgabenwechsel) zwischen T1 und T2, wie er im Standardexperiment vorkommt, zustande zu kommen. Dort wurde mit T1 (Ziffern) und T2 (Buchstaben) verschiedenes Zielreizmaterial dargeboten. Der VLVH zeigt sich allerdings auch, wenn wie in Teilexperiment Z<sub>Z</sub> beide Zielreize dem gleichen Material (hier Ziffern) entspringen. Auch bei Rösler [131] präsentierte sich ein derartiges Ergebnis.

Interessant ist, dass der VLVH in Teilexperiment Z<sub>B</sub> nicht beobachtet wurde. Im Vergleich zu Teilexperiment Z<sub>Z</sub> und zum Standardexperiment wurden in Z<sub>B</sub> sowohl andere Zielreize wie auch andere Distraktoren verwendet (*s. Tabelle 4.1*). Die sonstigen experimentellen Bedingungen waren in beiden Teilexperimenten identisch. Als Erklärung für das Ausbleiben des VLVH können folglich drei Möglichkeiten in Betracht gezogen werden. Erstens bietet sich als Grund das veränderte Zielreizmaterial an. Zweitens könnte die Veränderung der Distraktoren ursächlich sein. Als dritte Möglichkeit kann schließlich eine Kombination aus verändertem Zielreiz- und Distraktormaterial in Erwägung gezogen werden.

Experiment	Zielreize (T1 und T2)	Distraktoren (schwarz)	VLVH (T2)	
Standardexperiment [142, 156, 157, 158]	T1: D, F, G, J, K, L (rot) T2: 1, 2, 3, 4, 5, 6 (schwarz)	Alle Buchstaben außer D, F, G, J, K, L	Ja	
Experiment 1	Teilexperiment Z <sub>B</sub>	D, F, G, J, K, L (schwarz)	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	Nein
	Teilexperiment Z <sub>Z</sub>	1, 2, 3, 4, 5, 6 (schwarz)	A, B, C, D, F, G, J, K, L	Ja
Experiment 2	T1: D, F, G, J, K, L (blau) T2: 1, 2, 3, 4, 5, 6 (schwarz)	Alle Buchstaben außer H und W	Ja	
Rösler Experiment 1 [131]	D, F, G, H, J, K (T1 rot, T2 schwarz)	ཀ ལ ཚ ས ཅ ར འ ལ ར (tibetische Zeichen)	Ja	
Rösler Experiment 2 [131]	1, 2, 3, 4, 5, 6 (T1 rot, T2 schwarz)	ཀ ལ ཚ ས ཅ ར འ ལ ར (tibetische Zeichen)	Ja	
Beier Experiment 1 (unveröffentlicht) [10]	1, 2, 3, 4, 5, 6 (T1 rot, T2 blau)	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	Nein	
Beier Experiment 2 (unveröffentlicht) [10]	T1: 1, 2, 3, 4, 5, 6 (rot) T2: D, F, G, J, K, L (schwarz)	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	Nein	

Tabelle 4.1 Vergleich der Zielreize, Distraktoren und des Vorhandenseins des Vorteils des linken visuellen Halbfeldes (VLVH) in verschiedenen RSVP-Experimenten mit zwei Stimulusströmen.

Um zu überprüfen, ob das veränderte Zielreizmaterial der Grund für das Ausbleiben des VLVH ist, wäre ein Versuch vonnöten, in welchem die gleichen Zielreize wie in den

Teilexperimenten  $Z_B$  und  $Z_Z$ , dafür aber neutrale Distraktoren verwendet werden. *Rösler* [131] führte ein derartiges Experiment durch. Sie konnte zeigen, dass der VLVH auch dann zutage tritt, wenn wie in  $Z_B$  Buchstaben als Zielreize, als Distraktoren jedoch neutrale tibetische Buchstaben verwendet werden (*s. Tabelle 4.1*). Auch ist es in den Experimenten von *Rösler* für die Stärke des VLVH nicht relevant, ob Buchstaben oder Ziffern als Zielreize präsentiert werden. Dies beides spricht gegen die Vermutung, dass die veränderten Zielreize ursächlich für das Ausbleiben des VLVH sind. Es könnte eingewendet werden, dass in den Experimenten von *Rösler* im Gegensatz zu den Teilexperimenten  $Z_B$  und  $Z_Z$  verschiedenfarbige Zielreize verwendet wurden. Im Weiteren könnte vermutet werden, dass diese Verschiedenfarbigkeit für den VLVH entscheidend sei, nicht die Art der Distraktoren oder Zielreize. Dies scheint allerdings nicht der Fall zu sein, wie Teilexperiment  $Z_Z$  zeigt, wo der VLVH bei gleichfarbigen Distraktoren und Zielreizen zu beobachten war (*s. oben*).

Die Vermutung, dass in der Art der Distraktoren die Ursache für das Ausbleiben des VLVH in Teilexperiment  $Z_B$  zu suchen ist, wird gestützt durch zwei bisher nicht veröffentlichte Experimente von *Beier* [10]. Auch bei diesen zeigte sich bei Verwendung von Ziffern als Distraktoren kein VLVH (*s. Tabelle 4.1*). *Giesbrecht & Kingstone* [58] beobachteten ebenfalls keinen VLVH unter Verwendung von Ziffern als Distraktoren. Allerdings muss diese Arbeit mit Einschränkungen betrachtet werden, wie bereits in der Einleitung erläutert wurde.

Um die Vermutung zu erhärten, dass der VLVH bei der Verwendung von Ziffern als Distraktoren ausbleibt, könnten weitere Experimente mit Ziffern als Distraktormaterial und alternativen Zielreizen (z.B. Formen oder Sonderzeichen) durchgeführt werden.

Die bisherigen Überlegungen scheinen die Schlussfolgerung naheulegen, dass die Ziffern als Distraktoren entscheidend an dem Ausbleiben des VLVH sind. Die dritte Möglichkeit einer Erklärung für das Verschwinden des VLVH, die Kombination aus verändertem Zielreiz- als auch Distraktormaterial, ist aber nicht auszuschließen. Da keine weiteren Anhaltspunkte für diese Erklärung vorliegen, wird sie hier nicht weiter verfolgt.

Bisher konnte der VLVH mit unterschiedlichen Zielreizen und Distraktoren gezeigt werden. Mit hebräischen und chinesischen Schriftzeichen als Distraktoren [142] und selbst mit Gesichtern und Formen als Zielreizen und Distraktoren [4] zeigte sich diese Asymmetrie zugunsten der rechten Hemisphäre. Daher scheint der VLVH ein sehr robustes Phänomen zu sein. Deshalb stellt sich die Frage, weshalb dieses Phänomen in Teilexperiment  $Z_B$  nicht

beobachtet werden konnte. Bei der Beantwortung dieser Frage wird im Folgenden von der oben erläuterten Schlussfolgerung ausgegangen, dass die Ziffern als Distraktoren für das Verschwinden des VLVH maßgeblich sind. Es werden zwei Aspekte diskutiert: *Wo*, also in welcher Hemisphäre, ist das Ausbleiben des VLVH zu verorten und *wie*, also auf welche Art und Weise, führen Ziffern als Distraktoren zum Verschwinden dieses Phänomens?

Auf die Frage, in welcher Hemisphäre das Ausbleiben des VLVH zu verorten ist, gibt es drei mögliche Antworten (*s. Abbildung 4.1*). Die erste der drei Antworten geht davon aus, dass die linke Hemisphäre durch die Verarbeitung von Ziffern weniger in Anspruch genommen wird als bei anderen Distraktoren, wie Buchstaben (Hypothese 1). Aus folgendem Gedankengang erscheint diese Hypothese plausibel: Es gibt Belege dafür, dass in RSVP-Experimenten mit einem zentralen Stimulusstrom die Identifikationsquoten von Buchstaben als Zielreizen niedriger sind als diejenigen von Ziffern [145, 146]. Untersucht man beide Hemisphären mit lateralen Stimulusströmen getrennt, lässt sich erkennen, dass Buchstaben als T2 in beiden Gehirnhälften zu einem niedrigeren Prozentsatz identifiziert werden als Ziffern [131]. Überträgt man diesen Befund auf die Teilexperimente  $Z_B$  und  $Z_Z$ , so wäre zu erwarten, dass in  $Z_B$  die Identifikationsquoten sowohl des linken wie auch des rechten T2 im Vergleich zu  $Z_Z$  niedriger ausfallen. Tatsächlich ist aber nur bei linkem T2 eine geringere Identifikationsquote zu beobachten (*s. Abbildung 4.1*).

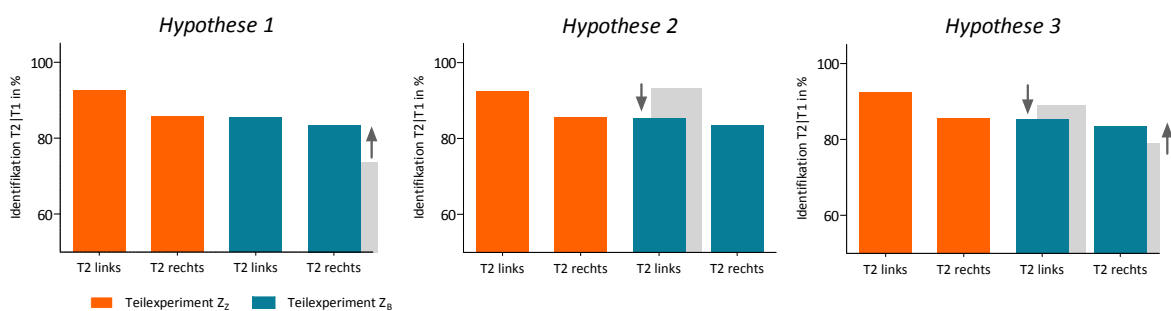


Abbildung 4.1 Schematische Darstellung der Hypothesen 1, 2 und 3. In orange und blau sind die gemessenen Identifikationsquoten der beiden Teilexperimente dargestellt, in grau das für die Hypothese spezifische davon abweichende vorhergesagte Ergebnis. Nach Hypothese 1 ist bei rechtem T2 in  $Z_B$  nicht eine niedrigere Identifikationsquote feststellbar (grauer Balken), da die linke Hemisphäre durch die Verarbeitung von Ziffern als Distraktoren vermindert in Anspruch genommen wird. Nach Hypothese 2 fällt die Identifikationsquote des linken T2 in  $Z_B$  nicht höher aus (grauer Balken), da die rechte Hemisphäre durch die Verarbeitung von Ziffern als Distraktoren vermehrt in Anspruch genommen wird. Hypothese 3 ist eine Kombination aus den Hypothesen 1 und 2.

Da die Identifikationsquote des rechten T2 höher ist als nach obiger Schlussfolgerung erwartet, scheint ein Leistungsgewinn der linken Hemisphäre vorzuliegen. Dieser könnte darauf beruhen, dass die linke Hemisphäre weniger Ressourcen benötigt, um Ziffern als Distraktoren zu verarbeiten und daher mehr Ressourcen zur Verfügung stehen, um Zielreize korrekt zu identifizieren. Hinweis auf diese Hypothese liefert ein Experiment von *Price & Ansari* [125], in welchem die passive Betrachtung von Ziffern und Buchstaben untersucht wurde. Die Autoren maßen mittels fMRT in der linken Hemisphäre bei Ziffern eine höhere Aktivität als bei Buchstaben (und zerhackten Zeichen). In keiner der beiden Hemisphären konnte jedoch eine höhere Aktivität bei Buchstaben als bei Ziffern (und zerhackten Zeichen) festgestellt werden. Dies steht in Einklang mit Hypothese 1, nach der die linke Hemisphäre Ziffern als Distraktoren besser zu verarbeiten vermag als Buchstaben, die rechte jedoch Buchstaben und Ziffern ähnlich effektiv verarbeitet. Es sollte erwähnt werden, dass eine höhere Aktivität in der linken Hemisphäre allerdings auch bedeuten könnte, dass es dieser Gehirnhälfte schwieriger fällt, Ziffern als Distraktoren zu verarbeiten.

Auch wäre möglich, dass die rechte Gehirnhälfte durch die Verarbeitung von Ziffern stärker in Anspruch genommen ist als bei sonstigen Distraktoren wie Buchstaben (Hypothese 2). Diese Hypothese ist nicht in dem Maße plausibel wie die erste Hypothese, da sie mit unserem Ergebnismuster nicht in Einklang steht, wenn vorausgesetzt wird, dass bei Buchstaben als Zielreizen niedrigere Identifikationsquoten zu erwarten sind als bei Ziffern. Auch das Resultat von *Price & Ansari* spricht gegen diese Hypothese. Schließlich ist eine Kombination aus den beiden Hypothesen 1 und 2 denkbar (Hypothese 3). Allein aufgrund der Identifikationsquoten schlusszufolgern, welche dieser drei Hypothesen zutrifft, ist nicht möglich, da in den Teilerperimenten  $Z_B$  und  $Z_Z$  neben den Distraktoren auch das Zielreizmaterial ausgetauscht wurde. Wie oben beschrieben, hat auch dieses Einfluss auf die Größe der Zielreizidentifikation.

Allgemeiner formuliert, könnte der VLVH verschwinden, weil es der linken Hemisphäre leichter fällt als der rechten, Ziffern als Distraktoren zu verarbeiten. Diese Vermutung ist mit allen drei der oben formulierten Hypothesen vereinbar.

Um beantworten zu können, auf welche Art und Weise der VLVH verschwindet, muss die Verarbeitung von Distraktoren betrachtet werden. Dass in RSVP-Experimenten die Zielreizverarbeitung durch die Verarbeitung von Distraktoren beeinflusst und gestört werden kann, wird allgemein angenommen. Eine derartige Beeinflussung könnte vermindert werden, indem die Distraktoren, nach einer kurzen Erkennung, gehemmt

werden. Tatsächlich deuten zahlreiche Hinweise darauf hin, dass in solchen Experimenten die Inhibition von Distraktoren eine entscheidende Rolle spielt [2, 39, 116, 117, 140, 166]. Auch konnte gezeigt werden, dass diese Inhibition bei der Zielreizselektion von Bedeutung ist [39, 40, 117]. Ferner wurden (außerhalb von RSVP-Paradigmen) elektrophysiologische Komponenten beschrieben, die mit der Inhibition von Distraktoren in Zusammenhang gebracht werden [63, 64]. Aus diesen Überlegungen heraus sind zwei Möglichkeiten als Erklärung denkbar, warum in Teilexperiment  $Z_B$  kein VLVH zu beobachten ist.

Erstens könnte die linke Hemisphäre Vorteile bei der kurzen Erkennung der arabischen Ziffern als Distraktoren aufweisen, die der Inhibition vorgelagert ist. Zweitens könnte die linke Gehirnhälfte im Vergleich zur rechten effektiver in der Inhibition von arabischen Ziffern als Distraktoren sein. Die bessere Erkennung bzw. Inhibition der Distraktoren könnte sich in beiden Fällen positiv auf die Identifikation von Zielreizen im rechten visuellen Feld auswirken, woraufhin als Folge der VLVH ausbleiben würde.

Dass in Teilexperiment  $Z_B$ , in dem arabische Ziffern als Distraktoren gezeigt wurden, bei den VEPs keine Hemisphärenasymmetrien nachzuweisen waren, spricht gegen diese beiden Möglichkeiten. Allerdings spiegeln die VEPs wahrscheinlich nur eine frühe Verarbeitungsstufe von Ziffern wider, nicht jedoch spätere Stufen. Da über die Verarbeitung von Distraktoren bisher wenig bekannt ist, konnten außer diesem Ergebnis keine direkten Hinweise gefunden werden, die für oder gegen eine dieser beiden Vermutungen sprechen. Verschiedene Ergebnisse deuten aber an, dass die linke Hemisphäre auf die Verarbeitung von arabischen Ziffern spezialisiert ist [31, 125]. Als Beispiel zeigt eine größere Anzahl an Studien, dass es Vorteile bei der Erkennung von arabischen Ziffern im rechten visuellen Feld gibt, sowohl bei der Identifikationsquote, wie auch bei der Reaktionszeit (*für eine Übersicht s. [127]*). Sollte die linke Gehirnhälfte tatsächlich Vorteile in der Verarbeitung von arabischen Ziffern haben, könnte sich dieser Vorteil auch auf die Verarbeitung von Distraktoren ausdehnen. Allerdings ist ebenfalls bekannt, dass die linke Hemisphäre der rechten in der Verarbeitung von Buchstaben überlegen ist [48]. Werden aber Buchstaben als Distraktoren verwendet, ist der VLVH zu beobachten (*s. Tabelle 4.1*). Auch zeigt sich der VLVH bei Ziffern als Zielreizen, obwohl wie oben ausgeführt, die linke Hemisphäre auf die Verarbeitung von Ziffern spezialisiert zu sein scheint. Dies stellt in Frage, ob ein Zusammenhang zwischen der Spezialisierung einer Hemisphäre auf bestimmtes Reizmaterial und dem VLVH hergestellt werden kann. Weitere Forschung, insbesondere über die Rolle von Distraktoren bei der Zielreizidentifikation, wird

nötig sein, um Licht auf die Fragestellung zu werfen, warum bei Ziffern als Distraktoren der VLVH so deutlich reduziert ist.

In *Tabelle 4.1* werden zwei RSVP-Experimente von *Scalf et al.* [132] nicht genannt, bei denen sich ein VLVH unter der Verwendung von Ziffern als Distraktoren zeigte (Experiment 1 und 6). Auf den ersten Blick scheint dieses Ergebnis schwer vereinbar mit der oben gezogenen Schlussfolgerung, dass in Telexperiment  $Z_B$  kein VLVH zu beobachten war, weil dort Ziffern als Distraktoren verwendet wurden. Allerdings präsentierten *Scalf et al.* nicht zwei sondern vier Stimulusströme, bei kürzerer Präsentationszeit der einzelnen Stimuli (80 ms anstatt 130 ms). Dies ist auch der Grund, warum diese Experimente in der *Tabelle* keine Erwähnung finden. Im nächsten Kapitel wird die Vermutung aufgestellt, dass der VLVH bei steigenden Anforderungen an die Aufmerksamkeit größer wird (*s. unten*). Werden vier anstatt zwei Stimulusströme bei kürzerer Präsentationszeit der einzelnen Stimuli gezeigt, dürften die Aufmerksamkeitsanforderungen und damit der VLVH steigen. Dies könnte die Ursache sein, warum der VLVH trotz der Tatsache, dass Ziffern als Distraktoren gezeigt wurden, auftrat.

Bisher wurde nicht darauf eingegangen, dass der VLVH in Telexperiment  $Z_Z$  nur bei verschiedenenseitigen Zielreizen, nicht aber bei gleichseitigen Zielreizen zu beobachten war. Eine Erklärungsmöglichkeit für dieses Ergebnis ist ein Deckeneffekt, da insbesondere in Lag 1 die Identifikationsquoten sehr hoch waren (*s. Abbildung 3.1*). Eine andere Erklärungsmöglichkeit ist, dass gleichseitige Ziffern als Zielreize niedrige Anforderungen an die Aufmerksamkeitsressourcen stellen, möglicherweise so niedrige, dass der VLVH ausbleibt. Diese Erklärung unterstellt die bereits erwähnte Vermutung, dass der VLVH bei steigenden Anforderungen an die Aufmerksamkeit größer wird (*s. unten*). Für diese Möglichkeit spricht, dass der VLVH bei gleichseitigen im Vergleich zu verschiedenenseitigen Zielreizen kleiner ist [131, 142, 157]. In Experiment 2 war dies ebenfalls zu beobachten und wird daher im nächsten Kapitel näher diskutiert.

In Bezug auf die Identifikationsquoten des T1 ließ sich beobachten, dass in Telexperiment  $Z_Z$  bei gleichseitigen Zielreizen der linke T1 in höherem Maße identifiziert wurde als der rechte. Dieses Ergebnis ist insbesondere in Zusammenhang mit den Resultaten aus Experiment 2 von Interesse und wird daher dort diskutiert.

#### 4.2 Identifikation der Zielreize in Experiment 2

Das entscheidende Ergebnis des zweiten Experimentes ist die Tatsache, dass der VLVH auch dann zu beobachten war, wenn nur ein einzelner T2 ohne vorangehenden T1 gezeigt wurde<sup>20</sup>. Dieses Resultat ist neu, da der VLVH zuvor nur beobachtet wurde, wenn zwei Zielreize präsentiert wurden [4, 65, 66, 131, 142, 156, 157, 158]. Es könnte gefolgert werden, dass das Auftreten eines ersten Zielreizes (T1) nicht entscheidend für das Zustandekommen des VLVH ist, da dieser ansonsten bei alleiniger Präsentation von T2 verschwinden müsste. Allerdings wurde den Versuchspersonen vor der Teilnahme an Experiment 2 nicht mitgeteilt, dass in bestimmten Durchgängen T1 nicht gezeigt werden würde. Daher bestand bei ihnen die Erwartungshaltung, dass in jedem Durchgang beide Zielreize erscheinen würden. Diese Erwartungshaltung könnte dazu beigetragen haben, dass sich der VLVH zeigte, obwohl nur T2 präsentiert wurde. Für die Hypothese, dass sich der VLVH auch bei einzelnen Zielreize zeigt, sprechen zwei Experimente von *Holländer et al.* [65] und *Asanowicz, Śmigasiewicz & Verleger* [4]. In diesen Experimenten erhielten die Versuchspersonen die Aufgabe, nur auf T2 zu achten und T1 zu ignorieren. In beiden zeigte sich der VLVH. Allerdings ist es nicht möglich zu sagen, inwieweit T1, trotz der Instruktion ihn zu ignorieren, nicht doch weiter verarbeitet wurde und damit Einfluss auf die weitere Verarbeitung von T2 ausgeübt hat. In einem Experiment von *Asanowicz (unveröffentlicht)* [3] zeigte sich allerdings deutlich, dass die Präsentation eines einzelnen Zielreizes für das Zustandekommen des VLVH ausreichend ist. Die experimentellen Bedingungen entsprachen denjenigen des Standardexperimentes der Arbeitsgruppe um *Verleger* [158]. Einziger Unterschied war, dass nur ein Zielreiz gezeigt wurde, der dem Standard-T2 entsprach. Bei diesem einzelnen T2 zeigte sich der VLVH. Schließlich fanden auch *Hellige & Webster* [62] einen VLVH bei der Präsentation eines einzelnen Zielreizes, wobei dieser Zielreiz nur vorwärts oder rückwärts maskiert wurde, im Gegensatz zur vollständigen Maskierung, wie in den oben dargestellten Experimenten.

Wenn in Experiment 2 dem T2 ein T1 vorausging, ergab sich der schon oft gezeigte VLVH. Dies entsprach den Erwartungen, da Experiment 2 mit dem Standardexperiment methodisch nahezu identisch ist (*s. Tabelle 4.1*). Des Weiteren war der VLVH bei verschiedenenseitigen im Vergleich zu gleichseitigen Zielreizen größer. Dieses Resultat konnten *Śmigasiewicz et al.*, *Rösler* und *Verleger*, *Śmigasiewicz & Möller* ebenfalls zeigen [131, 142, 157], wobei *Rösler* und *Verleger*, *Śmigasiewicz & Möller* diesen Effekt nur in

---

<sup>20</sup> Streng genommen kann ein Zielreiz, wenn dieser als einziger erscheint, natürlich nicht als T2 bezeichnet werden. Da dieser einzeln gezeigte Zielreiz aber dem T2 in diesem Experiment entspricht (*schwarze Ziffer*), wird er als T2 bezeichnet.

Lag 1, nicht aber in höheren Lags fanden. Dem Effekt liegt möglicherweise zugrunde, dass der VLVH umso größer ist, je höhere Aufmerksamkeitsleistungen die Aufgabe von der Versuchsperson fordert. Während sich bei gleichseitigen Zielreizen der Aufmerksamkeitsfokus nicht neu ausrichten muss, ist dies bei verschiedenseitigen Zielreizen, insbesondere in Lag 1, der Fall. Dies könnte die Aufmerksamkeitsanforderungen an die Versuchsperson steigern. Damit wäre der VLVH ein Phänomen, welches sich bei höherer Beanspruchung der Aufmerksamkeitsmechanismen verstärkt. *Asanowicz (unveröffentlicht)* [3] konnte zeigen, dass sich der VLVH bei zunehmender Präsentationsfrequenz der Stimuli, und damit erschwerter Reizdiskriminierung, vergrößert. Auch beobachteten *Śmigasiewicz et al. (unveröffentlicht)*, dass sich der VLVH bei hilfreichen Hinweisreizen (valid cue) verkleinert bzw. bei irreführenden Hinweisreizen (invalid cue) vergrößert [141]. Für diese Hypothese spricht auch, dass sich der VLVH verringert, wenn anstatt zwei Zielreizen nur noch einer identifiziert werden soll [4]. Schließlich zeigte sich der VLVH bei *Scalf et al.* bei Distraktoren, die den Zielreizen ähnlich waren, bei einfacher zu verarbeitenden Distraktoren, die den Zielreizen unähnlicher waren jedoch nicht (Experiment 3) [132]. Allerdings ist diese Hypothese möglicherweise auf alphanumerische Zeichen beschränkt und nicht auf Gesichter und Formen übertragbar. Dies ergibt sich aus der Beobachtung, dass bei diesen beiden Stimuli, im Vergleich zu alphanumerischen Zeichen, der VLVH geringer ausfällt, obwohl bei ersteren beiden die Identifikationsquoten deutlich geringer sind [4], was als ein Hinweis auf eine erhöhte Aufgabenschwierigkeit gewertet werden kann. Die Idee, dass sich der VLVH erst bei begrenzten Kapazitäten zeigt, entwickelten bereits *Verleger, Śmigasiewicz & Möller*. Sie begründeten diese begrenzten Ressourcen allerdings mit der der T2-Verarbeitung vorausgehenden Verarbeitung von T1 [157].

In kaum einem der bisherigen Experimente konnte ein VLVH für T1 gefunden werden [131, 142, 156, 157, 158]<sup>21</sup>. Auch wenn T1, wie in Experiment 2, ohne folgenden T2 präsentiert wird, lässt sich kein VLVH beobachten. Bisher wurde vermutet, dass sich bei T1 kein VLVH zeigt, da bei dessen Verarbeitung, im Gegensatz zu derjenigen von T2, noch ausreichend Verarbeitungskapazität vorhanden ist. Bei T2 jedoch, bedingt durch die Verarbeitung des zuvor erschienenen T1, ist diese Kapazität begrenzt und es kommt zum VLVH [157]. Da sich der VLVH allerdings auch bei einzeln präsentierten T2 zeigt, ist diese Vermutung als alleinige Erklärung in Frage zu stellen. Warum also kommt es bei T1 nicht zu diesem Phänomen?

---

<sup>21</sup> Ausnahmen stellen hier ein Experiment von *Asanowicz, Śmigasiewicz & Verleger* (Experiment 2) [4] und Telexperiment Z<sub>2</sub> dar. Bei *Śmigasiewicz et al.* [142] und *Asanowicz, Śmigasiewicz & Verleger* (Experiment 3) [4] zeigte sich zum Teil sogar ein Vorteil der Identifizierung von T1 im rechten visuellen Halbfeld.

In den dieser Arbeit vorausgehenden Versuchen [131, 142, 156, 157, 158], die den Experimenten dieser Arbeit im Versuchsaufbau nahezu gleichen, war T1 rot, in Experiment 2 blau gefärbt. Man könnte argumentieren, dass diese Färbung eine Signalwirkung bei der Erkennung des T1 ausübt. Diese Signalwirkung könnte wiederum die Identifizierung des T1 erleichtern und auf diese Weise den VLVH verhindern, da dieser möglicherweise erst bei höherer Beanspruchung der Aufmerksamkeitsmechanismen zum Tragen kommt (*s. oben*). Für diese Hypothese spricht, dass in Telexperiment Z<sub>Z</sub>, in dem T1 schwarz gefärbt war, tatsächlich der im linken Stimulusstrom erscheinende T1 signifikant besser identifiziert wurde. Einschränkend ist allerdings zu erwähnen, dass dies nur bei gleichseitigen Zielreizen der Fall war. Im Widerspruch hierzu steht, dass in Z<sub>B</sub> bei ebenfalls schwarzem T1 keine T1-Asymmetrie festzustellen war. Allerdings war in diesem Telexperiment möglicherweise aus denselben Gründen, aus denen sich auch bei T2 kein VLVH zeigte, ebenfalls keine T1-Asymmetrie zu beobachten. Einen Hinweis darauf, dass farbige Zielreize leichter zu identifizieren sind als nicht-farbige liefert der Sachverhalt, dass in Experiment 2 die kumulative Identifikationsquote von T1 (*blau gefärbt*) mit 83 % höher als diejenige von T2 (*schwarz gefärbt*) mit 78 % ist. Betrachtet man die einzeln gezeigten T1 bzw. T2, so ist diese Diskrepanz noch größer (83 % vs. 73 %).

Da der VLVH bei einzelnen Zielreizen noch nicht ausreichend untersucht ist, sind weitere Experimente in diesem Sinne wünschenswert, insbesondere da sich das Versuchsparadigma durch einen einzigen Zielreiz weniger komplex gestaltet. T2 müsste nicht mehr in Abhängigkeit von T1 gemessen werden (T2|T1), es gäbe weder Seitenwechsel noch task-switch und die Verarbeitung von T2 könnte nicht mehr durch das vorherige Erscheinen von T1 beeinflusst werden. Um zu überprüfen, ob tatsächlich die Farbigkeit des T1 für die Abwesenheit des VLVH von Bedeutung ist, könnte, unter Verwendung der üblichen Präsentationsfrequenz der Reize (130 ms), ein einzelner farbiger Zielreiz zwischen maskierenden Distraktoren präsentiert werden. Nach der oben dargelegten Hypothese dürfte sich in diesem Fall keine Asymmetrie zwischen beiden Hemisphären zeigen.

Abschließend lassen sich folgende drei Erkenntnisse zum VLVH zusammenfassen. Erstens ist der VLVH nicht unabhängig von dem verwendeten Distraktormaterial, wie Telexperiment Z<sub>B</sub> zeigt, in dem dieses Phänomen ausbleibt. Zweitens scheint der VLVH mit zunehmender Anforderung an die Aufmerksamkeit zu steigen. Drittens ist der VLVH nicht daran gebunden, dass zwei Zielreize erscheinen, da er auch auftritt, wenn nur ein Zielreiz präsentiert wird.

### 4.3 EEG-Komponenten

Im Rahmen der Diskussion der EEG-Komponenten sind zwei Punkte von besonderem Interesse. Erstens ergab sich durch den Umstand, dass sich der VLVH in Telexperiment  $Z_Z$  zeigte, in  $Z_B$  jedoch nicht, eine glückliche Situation. Durch dieses Ergebnis ist es möglich in direktem Vergleich zu prüfen, welche der EEG-Korrelate den VLVH widerzuspiegeln vermögen. Zweitens stellt sich die Frage, ob die in Experiment 2 neu eingesetzte Auswertungsmethode Vorteile gegenüber der Standardmethode<sup>22</sup> aufzuweisen hat.

#### *T2-N2pc*

In Telexperiment  $Z_Z$  zeigte sich der VLVH, in  $Z_B$  jedoch nicht. Die von uns gemessenen Komponenten T2-N2pc, T2-P3 und die VEPs wären in der Lage, dieses Ergebnis widerzuspiegeln. Von diesen wies einzig die Latenz der T2-N2pc analoge Ergebnisse zu den Verhaltensdaten auf. Während in Telexperiment  $Z_Z$  eine um 36 ms frühere Latenz in der rechten Hemisphäre festgestellt wurde, unterschieden sich die Latenzen in  $Z_B$  zwischen beiden Hemisphären nicht. Dieses Resultat unterstreicht die Rolle der Latenz der T2-N2pc als EEG-Korrelat des VLVH. Auch in Experiment 2 konnte bei vorhandenem VLVH eine um 48 bzw. 20 ms (Standardmethode bzw. neue Auswertungsmethode) frühere Latenz der T2-N2pc in der rechten Hemisphäre festgestellt werden. Diese Ergebnisse werden gestützt durch drei Arbeiten, in denen die Latenz der T2-N2pc ebenfalls den gefundenen VLVH widerspiegelte [154, 157, 158]. Einzig in einer Arbeit von *Rösler* wurde trotz vorhandenem VLVH kein Latenzunterschied zwischen beiden Hemisphären festgestellt [131]. Betrachtet man allerdings den grafischen Verlauf der Spannungskurven der T2-N2pc in dieser Arbeit, so lässt sich zumindest eine Tendenz zu früheren Latenzen in der rechten Hemisphäre ausmachen. Die Widerspiegelung des VLVH in der Latenz der T2-N2pc deutet darauf hin, dass eine höhere Verarbeitungsgeschwindigkeit der Zielreize in der rechten Hemisphäre in enger Beziehung zum VLVH steht. Die N2pc wird im Allgemeinen mit der Fokussierung der Aufmerksamkeit auf einen relevanten Zielreiz assoziiert [98]. Geht man ins Detail, wird die N2pc mit der Inhibition von Distraktoren [93], der Verstärkung der Zielreizrepräsentation [100] oder einer Kombination aus diesen beiden Mechanismen [63] in Verbindung gebracht. Dass diese Komponente als einzige in Experiment 1 die Verhaltensdaten widerzuspiegeln vermag, könnte ein Hinweis darauf sein, dass dem VLVH einer dieser beiden Mechanismen oder beide gemeinsam zugrunde liegen.

---

<sup>22</sup> Die Standardmethode ist die Methode, die in Experiment 1 verwendet wurde (s. Kapitel 2.1.8).

In Bezug auf die Amplitude der T2-N2pc zeigte sich erstens, dass diese in Experiment 1 bei größeren T1-T2-Abständen (Lags) zunahm. Dieses Resultat wurde bereits von *Rösler und Verleger, Śmigasięwicz & Möller* gezeigt [131, 157]. *Rösler* bietet für diesen Fund zwei Erklärungen an, entweder einen Erholungseffekt in der Fokussierung der Aufmerksamkeit oder eine erhöhte Inhibition der Distraktorrepräsentation. In Experiment 2 konnte diese Amplitudenzunahme nicht gezeigt werden, da nur ein Lag analysiert wurde.

Zweitens war die Amplitude in Experiment 1 bei verschiedenseitigen im Vergleich zu gleichseitigen Zielreizen größer. Dies lässt sich verstehen, wenn N2pc als Korrelat der selektiven Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf einen Zielreiz verstanden wird [98]. Diese Aufmerksamkeitsausrichtung ist bei verschiedenseitigen Zielreizen anspruchsvoller, da der zweite Zielreiz an einem anderen Ort erscheint. Dies könnte in Folge eine größere Amplitude bedingen.

### *T1-N2pc*

Bei dem Vergleich der Amplitude der T1-N2pc und der Identifikationsquoten des T1 ergeben sich sehr inhomogene Ergebnisse:

Experiment		T1-Identifikationsquote	Amplitude der T1-N2pc
Experiment 1	Teilexperiment Z <sub>B</sub>	links = rechts	links > rechts
	Teilexperiment Z <sub>Z</sub>	links > rechts <sup>1</sup>	links = rechts
Experiment 2		links = rechts	links > rechts

Tabelle 4.2 Vergleich der Hemisphärenasymmetrien der T1-Identifikationsquote und der Amplitude der T1-N2pc. Bei der Identifikationsquote steht die Seite (rechts/links) jeweils für den Stimulusstrom, bei der Amplitude steht diese für die jeweilige Hemisphäre. 1 = Nur bei gleichseitigen Zielreizen.

In keinem der beiden Experimente besteht Deckung zwischen T1-Identifikationsquote und Amplitude der T1-N2pc. Dies stellt in Frage ob diese Amplitude ein solides Korrelat der T1-Identifikationsquote ist.

Bei der Analyse der durch T1 evozierten N2pc zeigte sich ein möglicher Vorteil der neuen Auswertungsmethode gegenüber der Standardmethode. Der mithilfe der neuen Auswertungsmethode ermittelte Kurvenverlauf der T1-N2pc erscheint rein optisch betrachtet wesentlich homogener zu sein als derjenige der Standardmethode (*s. Abbildung 3.17*). Ursächlich hierfür ist möglicherweise eine geringere Überlagerung durch störende Signale. Der Grund für diese Überlegenheit findet sich womöglich in einer Besonderheit der Standard-Auswertungsmethode. Bei dieser Methode werden, mit dem Ziel, nicht-

zielreizbezogene Hemisphärenasymmetrien zu entfernen, Durchgänge subtrahiert, in denen T1 im gegenüberliegenden Stimulusstrom (ipsilateral zur Elektrode) erscheint. Dieser T1 im ipsilateralen Strom könnte zu Interaktionen zwischen beiden Hemisphären führen, die mit in die genannte Subtraktion einfließen und diese infolgedessen verzerren. Bei der neuen Auswertungsmethode werden hingegen Durchgänge subtrahiert, in denen T1 in keinem der beiden Stimulusströme erscheint. Damit tritt dieses Problem bei der neuen Methode nicht auf.

### *T2-P3*

Auch die T2-P3 scheint von der neuen Auswertungsmethode zu profitieren. In Experiment 2 konnten wir eine größere Amplitude nach linkem T2 messen. Dieses Ergebnis spiegelt die Identifikationsquoten des T2 wider und wurde ebenfalls von *Rösler* und *Verleger, Śmigasiewicz & Möller* [131, 157] gezeigt. Mit der Standard-Auswertungsmethode ergab sich hier eine tendenzielle Signifikanz, mit der neuen Methode eine sehr deutliche Signifikanz. Durch die neue Auswertungsmethode war es erstmals möglich, die T2-P3 von Nachpotentialen der T1-P3 sowie von systematisch störenden EEG-Signalen zu befreien. Dies führte zu einer grafisch wesentlich homogeneren Darstellung der T2-P3-Potentialkurve (*s. Abbildung 3.18*). Insgesamt ist die T2-P3 wohl diejenige Komponente, die am stärksten von der neuen Auswertungsmethode profitiert. Zum einen zeigt sich dies durch die deutliche optische Verbesserung der T2-P3-Potentialkurve und zum anderen durch die ausgeprägte Signifikanzsteigerung, welche die T2-Identifikationsquoten widerspiegelt.

Interessant ist, dass die Amplitude der T2-P3 in Telexperiment  $Z_B$  niedriger als in  $Z_Z$  war. Diesem Befund liegt möglicherweise zugrunde, dass Buchstaben als Zielreize schwieriger zu identifizieren sind als Ziffern, betrachtet unter dem Gesichtspunkt, dass die Amplitude der P3 bei hoher Aufgabenschwierigkeit [52] bzw. bei erschwerter Stimulusdiskrimination [26, 81] zu sinken scheint. Ein genereller Anhaltspunkt für diese Hypothese ist die Tatsache, dass Versuchspersonen in RSVP-Experimenten Ziffern zu einem höheren Prozentsatz identifizieren als Buchstaben [131, 145, 146]. *Rösler* konnte bei neutralem Distraktormaterial kürzere Latenzen der T2-P3 bei Ziffern als Zielreizen als bei Buchstaben nachweisen [131]. Auch dies spricht für eine einfachere Erkennung von Ziffern.

### *T1-P3*

Die *Amplitude* der T1-P3 war in beiden Experimenten nach linkem T1 größer als nach rechtem, bei in Experiment 1 eher grenzwertiger, in Experiment 2 aber deutlicher Signifikanz. Dies ist erstaunlich, da, mit Ausnahme von Telexperiment *Z<sub>Z</sub>*, die T1-Identifikationsquote in beiden Versuchen keine Asymmetrie zwischen beiden visuellen Halbfeldern zeigte. Zudem steht dieses Resultat in Kontrast zu den Ergebnissen von *Rösler* und *Verleger, Śmigasiewicz & Möller* [131, 157], bei denen sich kein signifikanter Unterschied der Amplitude zwischen rechtem und linkem T1 fand. Vermutlich sind in Experiment 1 und 2 zwei verschiedene Faktoren für dieses Ergebnis verantwortlich. In Experiment 1 war der T1, im Gegensatz zu den Experimenten von *Rösler* und *Verleger, Śmigasiewicz & Möller*, farblich von den Distraktoren nicht zu unterscheiden. Hierdurch war es schwieriger den T1 von den Distraktoren zu diskriminieren. In Zusammenhang mit der oben entwickelten Hypothese (*s. Kapitel 4.2*) kann die asymmetrische Amplitude als Resultat einer sich zwischen beiden Hemisphären unterscheidenden Verarbeitung von T1 verstanden werden, die erst bei höherer kognitiver Anforderung zum Vorschein kommt. Auch die Resultate des Experimentes 2 lassen sich in Zusammenhang mit dieser Hypothese verstehen. In diesem Versuch wurde, im Gegensatz zu *Rösler* und *Verleger, Śmigasiewicz & Möller*, in einzelnen Durchgängen der T1 nicht gezeigt. Dies könnte dazu geführt haben, dass bei den Probanden die Suchprozesse nach T1 mit einer höheren Intensität verliefen, entsprechend einer schwierigeren Diskrimination des T1. Möglicherweise resultierte schlussendlich eine asymmetrische Verarbeitung von T1, die eine nach linkem T1 größere Amplitude nach sich zog, sich jedoch nicht in den Identifikationsquoten niederschlug.

### *Visuell Evozierte Potentiale*

In keinem der beiden in dieser Arbeit durchgeführten Experimente konnte eine signifikante Asymmetrie der VEPs zugunsten einer Hemisphäre festgestellt werden. Lediglich in Telexperiment *Z<sub>Z</sub>* (Experiment 1) zeigte sich eine leichte Tendenz zugunsten einer früheren Latenz der linken Hemisphäre. Dieses Ergebnis steht in Widerspruch zu den Resultaten von *Verleger, Śmigasiewicz & Möller* und *Verleger, Dittmer & Śmigasiewicz* [154, 157], bei denen sich eine frühere Latenz der visuell evozierten Potentiale in der rechten Hemisphäre zeigte. Auch *Rösler* zeigte eine Tendenz zu einer derartigen Latenzasymmetrie [131]. Die Ergebnisse der Experimente 1 und 2 stellen damit in Frage, ob es einen generellen Vorteil der rechten Hemisphäre bei der Verarbeitungsgeschwindigkeit

von visuellen Stimuli gibt, wie *Verleger, Śmigasiewicz & Möller* vermuten. Vielmehr scheint dieser Vorteil auf bestimmte experimentelle Bedingungen beschränkt zu sein. Es könnte vermutet werden, dass das Distraktormaterial eine entscheidende Rolle bei der VEP-Asymmetrie spielt. Allerdings spricht ein Vergleich des Experimentes 2 mit den Ergebnissen von *Verleger, Śmigasiewicz & Möller* gegen diese Vermutung. Bei nahezu identischem Distraktormaterial (*Buchstaben, s. Tabelle 4.1*) zeigte sich allein bei *Verleger, Śmigasiewicz & Möller* eine Asymmetrie. Ein Ziel künftiger Experimente sollte es sein aufzuklären, welche Bedingungen dieser Latenzasymmetrie zugrunde liegen. Es gilt zu erwähnen, dass bei der Auswertung der VEPs in den Experimenten 1 und 2 eine neuartige Methode angewendet wurde, die nicht wie in den Arbeiten von *Rösler* und *Verleger, Śmigasiewicz & Möller* Latenz und Amplitude der P1- und N1-Komponenten miteinander vergleicht. Stattdessen wurden die VEP-Spannungskurven beider Hemisphären jeder einzelnen Versuchsperson miteinander korreliert. Jedoch zeigten sich in neueren Arbeiten der Arbeitsgruppe von *Verleger* der Latenzvorteil der rechten Hemisphäre auch mit dieser Auswertungsmethode [143, 154].

#### *Auswertungsmethoden*

Es konnte gezeigt werden, dass die neue Auswertungsmethode bei den beiden Komponenten T1-N2pc und T2-P3 der Standardmethode überlegen ist. Nachteil dieser Methode ist, dass, um sie anwenden zu können, im Experiment Durchgänge gezeigt werden müssen, in denen T1 oder T2 nicht erscheint. Dies könnte die Zielreizverarbeitung bei den Probanden verändern, da diese in bestimmten Durchgängen zwei Zielreize erwarten und suchen, aber nur einer erscheint. Auf diese Weise wird die Interpretation der Versuchsergebnisse erschwert. In zukünftigen Experimenten wird abzuwägen sein, ob dieser Nachteil schwerer wiegt als die aufgezeigten Vorteile der neuen Methode.

## 5 Zusammenfassung

In der in dieser Arbeit untersuchten RSVP-Aufgabe wurden zwei Stimulusströme gezeigt, jeweils einer rechts und links eines mittigen Fixationskreuzes. Die zwei Stimulusströme bestanden aus zwei aufeinander folgenden Zielreizen (T1 und T2), die zwischen maskierenden Distraktoren präsentiert wurden. Ein häufiges Ergebnis derartiger Experimente ist, dass der zweite Zielreiz (T2) im linken Strom besser identifiziert wird als im rechten. Dieser Effekt, auch als VLVH (Vorteil des linken visuellen Halbfeldes) bezeichnet, wurde in dieser Arbeit näher untersucht. In einem ersten Experiment prüften wir, inwiefern der VLVH abhängig von dem verwendeten Reizmaterial ist. Im Vergleich zu vorhergehenden Arbeiten variierten wir das Stimulusmaterial und präsentierten in zwei Teilexperimenten gleichfarbige Buchstaben und Ziffern jeweils als Distraktoren und Zielreize. In einem zweiten Experiment zeigten wir in bestimmten Durchgängen nur einen der beiden Zielreize (nur T1 oder nur T2). Auf diese Weise konnten wir untersuchen, ob der VLVH daran gebunden ist, dass zwei Zielreize erscheinen. Auch war es durch diese Art der Stimuluspräsentation möglich eine neue Auswertungsmethode zu prüfen. In beiden Experimenten leiteten wir die EEG-Potentiale der Versuchspersonen ab, während diese die Aufgabe durchführten. Wir untersuchten die durch T1 und T2 evozierten Komponenten N2pc und P3 sowie die durch die Distraktoren hervorgerufenen Visuell Evozierten Potentiale.

Im ersten Experiment zeigte sich der VLVH nur in einem der beiden Teilexperimente ( $Z_Z$ ), im anderen ( $Z_B$ ) jedoch nicht. Die durch T2 evozierte EEG-Komponente N2pc spiegelte dieses Resultat wider. Im zweiten Experiment konnte der VLVH repliziert werden und zeigte sich auch, wenn nur ein einzelner T2 präsentiert wurde.

Da der VLVH in Teilexperiment  $Z_B$  nicht zu beobachten war, scheint dieser Vorteil abhängig vom präsentierten Reizmaterial zu sein. Es wurde die Annahme formuliert, dass das Ausbleiben dieses Phänomens darin zu suchen ist, dass in diesem Teilexperiment arabische Ziffern als Distraktoren gezeigt wurden. Die Frage, auf welche Art und Weise die arabischen Ziffern zum Ausbleiben des VLVH führen könnten, kann auf der Grundlage der Ergebnisse dieser Arbeit nicht abschließend beantwortet werden. Es wird weitere Forschung, insbesondere über die Verarbeitungsmechanismen von Ziffern als Distraktoren nötig sein, um diese Frage klären zu können. Im Weiteren scheint der VLVH nicht davon abhängig zu sein, dass zwei Zielreize präsentiert werden. Dies zeigt das zweite Experiment, in dem dieser Vorteil auch zu beobachten ist, wenn nur ein Zielreiz präsentiert wird.

Schließlich konnte gezeigt werden, dass insbesondere bei den beiden Komponenten T1-N2pc und T2-P3 die neu entwickelte Auswertungsmethode Vorteile gegenüber der Standardmethode aufweist.

## 6 Literaturverzeichnis

- 1 <http://www.eyegaze.com/content/instrument-specifications> (Abgerufen am 19.06.2011)
- 2 Arnell KM, Stubitz SM: Attentional blink magnitude is predicted by the ability to keep irrelevant material out of working memory. *Psychol Res* 74, 457-467 (2010)
- 3 Asanowicz D: Ohne Titel (unveröffentlicht). Krakau (2011)
- 4 Asanowicz D, Śmigasiewicz K, Verleger R: Differences between visual hemifields in identifying rapidly presented target stimuli: letters and digits, faces, and shapes. *Front Psychol* 4, 452 (2013)
- 5 Atchley P, Kramer AF, Andersen GJ, Theeuwes J: Spatial cuing in a stereoscopic display: Evidence for a "depth-aware" attentional focus. *Psychon Bull Rev* 4, 524-529 (1997)
- 6 Averbach E, Coriell AS: Short-term memory in vision. *Bell Sys Tech J* 40, 309-328 (1961)
- 7 Banich MT, Belger A: Interhemispheric interaction: how do the hemispheres divide and conquer a task? *Cortex* 26, 77-94 (1990)
- 8 Barrick TR, Mackay CE, Prima S, Maes F, Vandermeulen D, Crow TJ, Roberts N: Automatic analysis of cerebral asymmetry: an exploratory study of the relationship between brain torque and planum temporale asymmetry. *Neuroimage* 24, 678-691 (2005)
- 9 Behrmann M, Zemel RS, Mozer MC: Object-based attention and occlusion: evidence from normal participants and a computational model. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 24, 1011-1036 (1998)
- 10 Beier K: Unveröffentlichtes Dissertationsprojekt. Universität zu Lübeck (2009)
- 11 Belger A, Banich MT: Costs and benefits of integrating information between the cerebral hemispheres: a computational perspective. *Neuropsychology* 12, 380-398 (1998)
- 12 Birbaumer N, Schmidt RF: Kognitive Funktionen und Denken. In: Schmidt RF, Lang F (Hrsg.): *Physiologie des Menschen*. 260-262, Springer, Heidelberg, 30. Auflage (2007)
- 13 Bowen A, McKenna K, Tallis RC: Reasons for variability in the reported rate of occurrence of unilateral spatial neglect after stroke. *Stroke* 30, 1196-1202 (1999)
- 14 Brefczynski JA, DeYoe EA: A physiological correlate of the 'spotlight' of visual attention. *Nat Neurosci* 2, 370-374 (1999)
- 15 Broadbent D: Perception and Communication. 112-124, Pergamon Press, London, 1. Auflage (1958)
- 16 Broadbent DE, Broadbent MH: From detection to identification: response to multiple targets in rapid serial visual presentation. *Percept Psychophys* 42, 105-113 (1987)
- 17 Chatrian GE, Lettich E, Nelson PL: Modified nomenclature for the "10%" electrode system. *J Clin Neurophysiol* 5, 183-186 (1988)

- 18 Cheal ML, Gregory M: Evidence of limited capacity and noise reduction with single-element displays in the location-cuing paradigm. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 23, 51-71 (1997)
- 19 Chun MM, Potter MC: A two-stage model for multiple target detection in rapid serial visual presentation. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 21, 109-127 (1995)
- 20 Chun MM, Wolfe JM: Visual Attention. In: Goldstein B (Hrsg.): Blackwell Handbook of Sensation and Perception. 272-310, *Blackwell Publishers Ltd.*, Oxford, 2. Auflage (2005)
- 21 Clark VP, Parasuraman R, Keil K, Kulansky R, Fannon S, Maisog JM, Ungerleider LG, Haxby JV: Selective attention to face identity and color studied with f MRI. *Hum Brain Mapp* 5, 293-297 (1997)
- 22 Corballis MC, Sergent J: Imagery in a commissurotomed patient. *Neuropsychologia* 26, 13-26 (1988)
- 23 Corballis PM, Funnell MG, Gazzaniga MS: A dissociation between spatial and identity matching in callosotomy patients. *Neuroreport* 10, 2183-2187 (1999)
- 24 Corbetta M, Miezin FM, Dobmeyer S, Shulman GL, Petersen SE: Selective and divided attention during visual discriminations of shape, color, and speed: functional anatomy by positron emission tomography. *J Neurosci* 11, 2383-2402 (1991)
- 25 Corbetta M, Miezin FM, Shulman GL, Petersen SE: A PET study of visuospatial attention. *J Neurosci* 13, 1202-1226 (1993)
- 26 Craston P, Wyble B, Chennu S, Bowman H: The attentional blink reveals serial working memory encoding: evidence from virtual and human event-related potentials. *J Cogn Neurosci* 21, 550-566 (2009)
- 27 Dell'Acqua R, Pascali A, Jolicœur P, Sessa P: Four-dot masking produces the attentional blink. *Vision Res* 43, 1907-1913 (2003)
- 28 Dell'Acqua R, Sessa P, Jolicœur P, Robitaille N: Spatial attention freezes during the attention blink. *Psychophysiology* 43, 394-400 (2006)
- 29 Deutsch JA, Deutsch D: Attention: some theoretical considerations. 70, 80-90 (1963)
- 30 Di Pellegrino G: Clock-drawing in a case of left visuo-spatial neglect: a deficit of disengagement? *Neuropsychologia* 33, 353-358 (1995)
- 31 Dien J: A tale of two recognition systems: implications of the fusiform face area and the visual word form area for lateralized object recognition models. *Neuropsychologia* 47, 1-16 (2009)
- 32 Donchin E: Presidential address, 1980. Surprise!...Surprise? *Psychophysiology* 18, 493-513 (1981)
- 33 Donchin E, Coles MGH: Is the P300 component a manifestation of context updating? *Behav Brain Sci* 11, 357-427 (1988)
- 34 Dorsaint-Pierre R, Penhune VB, Watkins KE, Neelin P, Lerch JP, Bouffard M, Zatorre RJ: Asymmetries of the planum temporale and Heschl's gyrus: relationship to language lateralization. *Brain* 129, 1164-1176 (2006)
- 35 Downing CJ, Pinker S: The spatial structure of visual attention. In: Posner MI, Marin OSM (Hrsg.): Attention and performance XI. 171-188, *Lawrence Erlbaum Associates*, Hillsdale, 1. Auflage (1985)
- 36 Driver J, Baylis GC: Movement and visual attention: the spotlight metaphor breaks down. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 15, 448-456 (1989)

- 37 Duncan J: The locus of interference in the perception of simultaneous stimuli. *Psychol Rev* 87, 272-300 (1980)
- 38 Duncan J: Selective attention and the organization of visual information. *J Exp Psychol Gen* 113, 501-517 (1984)
- 39 Dux PE, Coltheart V, Harris IM: On the fate of distractor stimuli in rapid serial visual presentation. *Cognition* 99, 355-382 (2006)
- 40 Dux PE, Marois R: Distractor inhibition predicts individual differences in the attentional blink. *PLoS One* 3, e3330 (2008)
- 41 Dux PE, Marois R: The attentional blink: a review of data and theory. *Atten Percept Psychophys* 71, 1683-1700 (2009)
- 42 Eckert MA, Leonard CM, Possing ET, Binder JR: Uncoupled leftward asymmetries for planum morphology and functional language processing. *Brain Lang* 98, 102-111 (2006)
- 43 Egly R, Driver J, Rafal RD: Shifting visual attention between objects and locations: evidence from normal and parietal lesion subjects. *J Exp Psychol Gen* 123, 161-177 (1994)
- 44 Enns J, Di Lollo V: Object Substitution: A New Form of Masking in Unattended Visual Locations. 8, 135-139 (1997)
- 45 Eriksen C, Hoffman J: The extent of processing of noise elements during selective encoding from visual displays. *Atten Percept Psychophys* 14, 155-160 (1973)
- 46 Eriksen CW, St James JD: Visual attention within and around the field of focal attention: a zoom lens model. *Percept Psychophys* 40, 225-240 (1986)
- 47 Eriksen CW, Yeh YY: Allocation of attention in the visual field. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 11, 583-597 (1985)
- 48 Flowers DL, Jones K, Noble K, VanMeter J, Zeffiro TA, Wood FB, Eden GF: Attention to single letters activates left extrastriate cortex. *Neuroimage* 21, 829-839 (2004)
- 49 Friedrich FJ, Egly R, Rafal RD, Beck D: Spatial attention deficits in humans: a comparison of superior parietal and temporal-parietal junction lesions. *Neuropsychology* 12, 193-207 (1998)
- 50 Funnell MG, Corballis PM, Gazzaniga MS: A deficit in perceptual matching in the left hemisphere of a callosotomy patient. 37, 1143-1154 (1999)
- 51 Gandhi SP, Heeger DJ, Boynton GM: Spatial attention affects brain activity in human primary visual cortex. *Proc Natl Acad Sci U S A* 96, 3314-3319 (1999)
- 52 Garcia-Larrea L, Cezanne-Bert G: P3, positive slow wave and working memory load: a study on the functional correlates of slow wave activity. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 108, 260-273 (1998)
- 53 Gazzaniga MS, Bogen JE, Sperry RW: Some functional effects of sectioning the cerebral commissures in man. *Proc Natl Acad Sci U S A* 48, 1765-1769 (1962)
- 54 Gazzaniga MS, Bogen JE, Sperry RW: Observations on visual perception after disconnection of the cerebral hemispheres in man. *Brain* 88, 221-236 (1965)
- 55 Gazzaniga MS, Sperry RW: Language after section of the cerebral commissures. *Brain* 90, 131-148 (1967)
- 56 Georgiou-Karistianis N, Tang J, Vardy Y, Sheppard D, Evans N, Wilson M, Gardner B, Farrow M, Bradshaw J: Progressive age-related changes in the attentional blink paradigm. *Neuropsychol Dev Cogn B Aging Neuropsychol Cogn* 14, 213-226 (2007)

- 57 Geschwind N, Levitsky W: Human brain: left-right asymmetries in temporal speech region. *Science* 161, 186-187 (1968)
- 58 Giesbrecht B, Kingstone A: Right hemisphere involvement in the attentional blink: evidence from a split-brain patient. *Brain Cogn* 55, 303-306 (2004)
- 59 Haenny PE, Schiller PH: State dependent activity in monkey visual cortex. I. Single cell activity in V1 and V4 on visual tasks. *Exp Brain Res* 69, 225-244 (1988)
- 60 Halligan PW, Marshall JC: Toward a principled explanation of unilateral neglect. *Cogn Neuropsychol* 11, 167-206 (1994)
- 61 Hari R, Renvall H: Impaired processing of rapid stimulus sequences in dyslexia. *Trends Cogn Sci* 5, 525-532 (2001)
- 62 Hellige JB, Webster R: Right hemisphere superiority for initial stages of letter processing. 17, 653-660 (1979)
- 63 Hickey C, Di Lollo V, McDonald JJ: Electrophysiological indices of target and distractor processing in visual search. *J Cogn Neurosci* 21, 760-775 (2009)
- 64 Hilimire MR, Mounts JR, Parks NA, Corballis PM: Dynamics of target and distractor processing in visual search: evidence from event-related brain potentials. *Neurosci Lett* 495, 196-200 (2011)
- 65 Holländer A, Corballis MC, Hamm JP: Visual-field asymmetry in dual-stream RSVP. *Neuropsychologia* 43, 35-40 (2005)
- 66 Holländer A, Hausmann M, Hamm JP, Corballis MC: Sex hormonal modulation of hemispheric asymmetries in the attentional blink. *J Int Neuropsychol Soc* 11, 263-272 (2005)
- 67 Hollingsworth DE, McAuliffe SP, Knowlton BJ: Temporal allocation of visual attention in adult attention deficit hyperactivity disorder. *J Cogn Neurosci* 13, 298-305 (2001)
- 68 Husain M, Kennard C: Distractor-dependent frontal neglect. *Neuropsychologia* 35, 829-841 (1997)
- 69 Husain M, Rorden C: Non-spatially lateralized mechanisms in hemispatial neglect. *Nat Rev Neurosci* 4, 26-36 (2003)
- 70 Husain M, Shapiro K, Martin J, Kennard C: Abnormal temporal dynamics of visual attention in spatial neglect patients. *Nature* 385, 154-156 (1997)
- 71 Jolicœur P, Sessa P, Dell'Acqua R, Robitaille N: On the control of visual spatial attention: evidence from human electrophysiology. *Psychol Res* 70, 414-424 (2006)
- 72 Jolicœur P, Sessa P, Dell'Acqua R, Robitaille N: Attentional control and capture in the attentional blink paradigm: evidence from human electrophysiology. *Eur J Cogn Psychol* 18, 560-578 (2006)
- 73 Kahneman D, Chajczyk D: Tests of the automaticity of reading: dilution of Stroop effects by color-irrelevant stimuli. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 9, 497-509 (1983)
- 74 Kahneman D, Henik A: Perceptual organization and attention. In: Kubovy M, Pomerantz JR (Hrsg.): Perceptual organization. 181-211, *Lawrence Erlbaum Associates*, Hillsdale, 1. Auflage (1981)
- 75 Kanwisher N, Driver J: Objects, Attributes, and Visual Attention: Which, What, and Where. *Curr Dir Psychol Sci* 1, 26-31 (1992)

- 76 Keil A, Heim S: Prolonged reduction of electrocortical activity predicts correct performance during rapid serial visual processing. *Psychophysiology* 46, 718-725 (2009)
- 77 Kiesel A, Miller J, Jolicœur P, Brisson B: Measurement of ERP latency differences: a comparison of single-participant and jackknife-based scoring methods. *Psychophysiology* 45, 250-274 (2008)
- 78 Kinsbourne M: Orientational bias model of unilateral neglect: Evidence from attentional gradients within hemisphere. In: Robertson IH, Marshall JC (Hrsg.): Unilateral neglect: Clinical and experimental studies. 63-86, *Lawrence Erlbaum Associates Ltd.*, Hove, 1. Auflage (1993)
- 79 Kiss M, Van Velzen J, Eimer M: The N2pc component and its links to attention shifts and spatially selective visual processing. *Psychophysiology* 45, 240-249 (2008)
- 80 Knecht S, Drager B, Deppe M, Bobe L, Lohmann H, Floel A, Ringelstein EB, Henningsen H: Handedness and hemispheric language dominance in healthy humans. *Brain* 123 Pt 12, 2512-2518 (2000)
- 81 Kok A: On the utility of P3 amplitude as a measure of processing capacity. *Psychophysiology* 38, 557-577 (2001)
- 82 Kramer AF, Jacobson A: Perceptual organization and focused attention: the role of objects and proximity in visual processing. *Percept Psychophys* 50, 267-284 (1991)
- 83 Lahar CJ, Isaak, M.I., McArthur, A.D.: Age differences in the magnitude of attentional blink. *Neuropsychol Dev Cogn B Aging Neuropsychol Cogn* 8, 149-159 (2001)
- 84 Lavie N: Perceptual load as a necessary condition for selective attention. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 21, 451-468 (1995)
- 85 Lavie N, Tsal Y: Perceptual load as a major determinant of the locus of selection in visual attention. *Percept Psychophys* 56, 183-197 (1994)
- 86 Lawrence D: Two studies of visual search for word targets with controlled rates of presentation. *Atten Percept Psychophys* 10, 85-89 (1971)
- 87 Levy J, Trevarthen C: Metacognition of hemispheric function in human split-brain patients. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 2, 299-312 (1976)
- 88 Li CS, Lin WH, Yang YY, Huang CC, Chen TW, Chen YC: Impairment of temporal attention in patients with schizophrenia. *Neuroreport* 13, 1427-1430 (2002)
- 89 Lokhorst GJ: The first theory about hemispheric specialization: fresh light on an old codex. *J Hist Med Allied Sci* 51, 293-312 (1996)
- 90 Luck SJ, Chelazzi L, Hillyard SA, Desimone R: Neural mechanisms of spatial selective attention in areas V1, V2, and V4 of macaque visual cortex. *J Neurophysiol* 77, 24-42 (1997)
- 91 Luck SJ, Hillyard SA: Electrophysiological evidence for parallel and serial processing during visual search. *Percept Psychophys* 48, 603-617 (1990)
- 92 Luck SJ, Hillyard SA: Electrophysiological correlates of feature analysis during visual search. *Psychophysiology* 31, 291-308 (1994)
- 93 Luck SJ, Hillyard SA: Spatial filtering during visual search: evidence from human electrophysiology. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 20, 1000-1014 (1994)
- 94 Luck SJ, Hillyard SA, Mouloua M, Hawkins HL: Mechanisms of visual-spatial attention: resource allocation or uncertainty reduction? *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 22, 725-737 (1996)

- 95 Luck SJ, Vogel EK, Shapiro KL: Word meanings can be accessed but not reported during the attentional blink. *Nature* 383, 616-618 (1996)
- 96 Luders E, Gaser C, Jancke L, Schlaug G: A voxel-based approach to gray matter asymmetries. *Neuroimage* 22, 656-664 (2004)
- 97 Martens S, Munneke J, Smid H, Johnson A: Quick minds don't blink: electrophysiological correlates of individual differences in attentional selection. *J Cogn Neurosci* 18, 1423-1438 (2006)
- 98 Martens S, Wyble B: The attentional blink: past, present, and future of a blind spot in perceptual awareness. *Neurosci Biobehav Rev* 34, 947-957 (2010)
- 99 Masuhr KF, Neumann M: Neurologie. 99, *Georg Thieme Verlag*, Stuttgart, 6. Auflage (2007)
- 100 Mazza V, Turatto M, Caramazza A: Attention selection, distractor suppression and N2pc. *Cortex* 45, 879-890 (2009)
- 101 Mesulam MM: A cortical network for directed attention and unilateral neglect. *Ann Neurol* 10, 309-325 (1981)
- 102 Miller J, Ulrich R, Schwarz W: Why jackknifing yields good latency estimates. *Psychophysiology* 46, 300-312 (2009)
- 103 Moore C, Yantis S, Vaughan B: Object-based visual selection: evidence from perceptual completion. *Psychol Sci* 9, 104-110 (1998)
- 104 Moran J, Desimone R: Selective attention gates visual processing in the extrastriate cortex. *Science* 229, 782-784 (1985)
- 105 Morrow LA, Ratcliff G: The disengagement of covert attention and the neglect syndrome. *Psychobiology* 16, 261-269 (1988)
- 106 Mort DJ, Malhotra P, Mannan SK, Rorden C, Pambakian A, Kennard C, Husain M: The anatomy of visual neglect. *Brain* 126, 1986-1997 (2003)
- 107 Motter BC: Focal attention produces spatially selective processing in visual cortical areas V1, V2, and V4 in the presence of competing stimuli. *J Neurophysiol* 70, 909-919 (1993)
- 108 Motter BC: Neural correlates of attentive selection for color or luminance in extrastriate area V4. *J Neurosci* 14, 2178-2189 (1994)
- 109 Muckli L, Naumer MJ, Singer W: Bilateral visual field maps in a patient with only one hemisphere. *Proc Natl Acad Sci U S A* 106, 13034-13039 (2009)
- 110 Naccache L, Blandin E, Dehaene S: Unconscious masked priming depends on temporal attention. *Psychol Sci* 13, 416-424 (2002)
- 111 Nobre AC, Sebestyen GN, Gitelman DR, Mesulam MM, Frackowiak RS, Frith CD: Functional localization of the system for visuospatial attention using positron emission tomography. *Brain* 120 ( Pt 3), 515-533 (1997)
- 112 O'Craven KM, Rosen BR, Kwong KK, Treisman A, Savoy RL: Voluntary attention modulates fMRI activity in human MT-MST. *Neuron* 18, 591-598 (1997)
- 113 Okon-Singer H, Podlipsky I, Siman-Tov T, Ben-Simon E, Zhdanov A, Neufeld MY, Hendler T: Spatio-temporal indications of sub-cortical involvement in leftward bias of spatial attention. *Neuroimage* 54, 3010-3020 (2011)
- 114 Oldfield RC: The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 9, 97-113 (1971)

- 115 Olivers CN, Hulleman J, Spalek T, Kawahara J, Di Lollo V: The sparing is far from spurious: reevaluating within-trial contingency effects in the attentional blink. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 37, 396-408 (2011)
- 116 Olivers CN, Meeter M: A boost and bounce theory of temporal attention. *Psychol Rev* 115, 836-863 (2008)
- 117 Olivers CN, Watson DG: Input control processes in rapid serial visual presentations: target selection and distractor inhibition. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 32, 1083-1092 (2006)
- 118 Park HJ, Westin CF, Kubicki M, Maier SE, Niznikiewicz M, Baer A, Frumin M, Kikinis R, Jolesz FA, McCarley RW, Shenton ME: White matter hemisphere asymmetries in healthy subjects and in schizophrenia: a diffusion tensor MRI study. *Neuroimage* 23, 213-223 (2004)
- 119 Pesciarelli F, Kutas M, Dell'acqua R, Peressotti F, Job R, Urbach TP: Semantic and repetition priming within the attentional blink: an event-related brain potential (ERP) investigation study. *Biol Psychol* 76, 21-30 (2007)
- 120 Posner MI: Orienting of attention. *Q J Exp Psychol* 32, 3-25 (1980)
- 121 Posner MI, Cohen Y: Components of visual orienting. In: Bouma H, Bouwhuis DG (Hrsg.): Attention and performance X. 531-556, *Lawrence Erlbaum Associates*, Hillsdale, 1. Auflage (1984)
- 122 Posner MI, Snyder CR, Davidson BJ: Attention and the detection of signals. *J Exp Psychol* 109, 160-174 (1980)
- 123 Posner MI, Walker JA, Friedrich FJ, Rafal RD: Effects of parietal injury on covert orienting of attention. *J Neurosci* 4, 1863-1874 (1984)
- 124 Potter MC, Chun MM, Banks BS, Muckenhoupt M: Two attentional deficits in serial target search: the visual attentional blink and an amodal task-switch deficit. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn* 24, 979-992 (1998)
- 125 Price GR, Ansari D: Symbol processing in the left angular gyrus: evidence from passive perception of digits. *Neuroimage* 57, 1205-1211 (2011)
- 126 Ptito A, Brisson B, Dell'Acqua R, Lassonde M, Jolicœur P: The attentional blink within and across the hemispheres: Evidence from a patient with a complete section of the corpus callosum. *Biol Psychol* 82, 64-69 (2009)
- 127 Ratinckx E, Brysbaert M, Reynvoet B: Bilateral field interactions and hemispheric asymmetry in number comparison. *Neuropsychologia* 39, 335-345 (2001)
- 128 Raymond JE, Shapiro KL, Arnell KM: Temporary suppression of visual processing in an RSVP task: an attentional blink? *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 18, 849-860 (1992)
- 129 Rokke PD, Arnell KM, Koch MD, Andrews JT: Dual-task attention deficits in dysphoric mood. *J Abnorm Psychol* 111, 370-379 (2002)
- 130 Roser ME, Fugelsang JA, Dunbar KN, Corballis PM, Gazzaniga MS: Dissociating processes supporting causal perception and causal inference in the brain. *Neuropsychology* 19, 591-602 (2005)
- 131 Rösler A: Buchstabenverarbeitung links, Aufmerksamkeit rechts? Beeinflussen Reizmaterial und Präsentationszeit den Linksfeldvorteil bei schneller Darbietung von Reizserien? Unveröffentlichte Diplomarbeit. Universität zu Kiel (2012)
- 132 Scalf PE, Banich MT, Kramer AF, Narechania K, Simon CD: Double take: parallel processing by the cerebral hemispheres reduces attentional blink. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 33, 298-329 (2007)

- 133 Schall JD, Hanes DP: Neural basis of saccade target selection in frontal eye field during visual search. *Nature* 366, 467-469 (1993)
- 134 Schandry R: Biologische Psychologie. 552-553, *Beltz Verlag*, Weinheim, 1. Auflage (2003)
- 135 Seifert J: Ereigniskorrelierte EEG-Aktivität. 120-121, *Pabst Science Publishers*, Lengerich, 1. Auflage (2005)
- 136 Sergent C, Baillet S, Dehaene S: Timing of the brain events underlying access to consciousness during the attentional blink. *Nat Neurosci* 8, 1391-1400 (2005)
- 137 Shapiro KL, Raymond JE, Arnell KM: The attentional blink. *Trends Cogn Sci* 1, 291-296 (1997)
- 138 Shiu L, Pashler H: Negligible Effect of Spatial Precuing on Identification of Single Digits. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 20, 1037-1054 (1994)
- 139 Simons D, Chabris C: Gorillas in our midst: sustained inattention blindness for dynamic events. *Perception* 28, 1059-1074 (1999)
- 140 Slagter HA, Georgopoulou K: Distractor inhibition predicts individual differences in recovery from the attentional blink. *PLoS One* 8, e64681 (2013)
- 141 Śmigasiewicz K, Asanowicz D, Westphal N, Verleger R: A matter of attention? Can cues help in offsetting the left visual field advantage in target identification? (Manuskript in Vorbereitung) (2013)
- 142 Śmigasiewicz K, Shalgi S, Hsieh S, Möller F, Jaffe S, Chang CC, Verleger R: Left visual-field advantage in the dual-stream RSVP task and reading-direction: a study in three nations. *Neuropsychologia* 48, 2852-2860 (2010)
- 143 Śmigasiewicz K, Weinrich J, Reinhardt B, Verleger R: Deployment and release of interhemispheric inhibition in dual-stream rapid serial visual presentation (eingereicht zur Veröffentlichung). *Biol Psychol* (2013)
- 144 Somers DC, Dale AM, Seiffert AE, Tootell RB: Functional MRI reveals spatially specific attentional modulation in human primary visual cortex. *Proc Natl Acad Sci USA* 96, 1663-1668 (1999)
- 145 Starrfelt R, Behrmann M: Number reading in pure alexia - A review. *Neuropsychologia* 49, 2283-2298 (2011)
- 146 Stein T, Zwickel J, Kitzmantel M, Ritter J, Schneider WX: Irrelevant words trigger an attentional blink. *Exp Psychol* 57, 301-307 (2010)
- 147 Stone SP, Patel P, Greenwood RJ, Halligan PW: Measuring visual neglect in acute stroke and predicting its recovery: the visual neglect recovery index. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 55, 431-436 (1992)
- 148 Tootell RB, Hadjikhani N, Hall EK, Marrett S, Vanduffel W, Vaughan JT, Dale AM: The retinotopy of visual spatial attention. *Neuron* 21, 1409-1422 (1998)
- 149 Treisman AM: Contextual cues in selective listening. *Q J Exp Psychol* 12, 242-248 (1960)
- 150 Treue S, Maunsell JH: Attentional modulation of visual motion processing in cortical areas MT and MST. *Nature* 382, 539-541 (1996)
- 151 Turk DJ, Heatherton TF, Kelley WM, Funnell MG, Gazzaniga MS, Macrae CN: Mike or me? Self-recognition in a split-brain patient. *Nat Neurosci* 5, 841-842 (2002)
- 152 Vallar G: Extrapersonal visual unilateral spatial neglect and its neuroanatomy. *Neuroimage* 14, S52-58 (2001)

- 153 Verleger R: On the utility of P3 latency as an index of mental chronometry. *Psychophysiology* 34, 131-156 (1997)
- 154 Verleger R, Dittmer M, Śmigasiewicz K: Cooperation or competition of the two hemispheres in processing characters presented at vertical midline. *PLoS One* 8, e57421 (2013)
- 155 Verleger R, Jaśkowski P, Wascher E: Evidence for an integrative role of P3b in linking reaction to perception. *J Psychophysiol* 19, 165-181 (2005)
- 156 Verleger R, Möller F, Kuniecki M, Śmigasiewicz K, Groppa S, Siebner HR: The left visual-field advantage in rapid visual presentation is amplified rather than reduced by posterior-parietal rTMS. *Exp Brain Res* 203, 355-365 (2010)
- 157 Verleger R, Śmigasiewicz K, Möller F: Mechanisms underlying the left visual-field advantage in the dual stream RSVP task: evidence from N2pc, P3, and distractor-evoked VEPs. *Psychophysiology* 48, 1096-1106 (2011)
- 158 Verleger R, Sprenger A, Gebauer S, Fritzmanna M, Friedrich M, Kraft S, Jaśkowski P: On why left events are the right ones: neural mechanisms underlying the left-hemifield advantage in rapid serial visual presentation. *J Cogn Neurosci* 21, 474-488 (2009)
- 159 Visser TAW, Bischof WF, Di Lollo V: Attentional Switching in Spatial and Nonspatial Domains: Evidence From the Attentional Blink. *Psychol Bull* 125, 458-469 (1999)
- 160 Vogel EK, Luck SJ: Delayed working memory consolidation during the attentional blink. *Psychon Bull Rev* 9, 739-743 (2002)
- 161 Vogel EK, Luck SJ, Shapiro KL: Electrophysiological evidence for a postperceptual locus of suppression during the attentional blink. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 24, 1656-1674 (1998)
- 162 Weichselgartner E, Sperling G: Dynamics of automatic and controlled visual attention. *Science* 238, 778-780 (1987)
- 163 Weissman DH, Banich MT: The cerebral hemispheres cooperate to perform complex but not simple tasks. *Neuropsychology* 14, 41-59 (2000)
- 164 Wilde EA, McCauley SR, Chu Z, Hunter JV, Bigler ED, Yallampalli R, Wang ZJ, Hanten G, Li X, Ramos MA, Sabir SH, Vasquez AC, Menefee D, Levin HS: Diffusion tensor imaging of hemispheric asymmetries in the developing brain. *J Clin Exp Neuropsychol* 31, 205-218 (2009)
- 165 Wojciulik E, Kanwisher N, Driver J: Covert visual attention modulates face-specific activity in the human fusiform gyrus: fMRI study. *J Neurophysiol* 79, 1574-1578 (1998)
- 166 Zhao J, Li H, Ding C, Chen A: Distractor detection and suppression have a beneficial effect on attentional blink. *PLoS One* 7, e44786 (2012)

## 7 Anhang

### 7.1 Tabellarische Darstellung der F- und p-Werte des Experimentes 1

#### T2

Faktor	BZ	Seite	SK	Lag	BZ x Seite	BZ x SK	BZ x Lag	Seite x SK	Seite x Lag	SK x Lag
Signifikanz	F = 3,4 p = 0,092	<b>F = 7,3</b> <b>p = 0,021</b>	<b>F = 29,6</b> <b>p &lt; 0,001</b>	F = 3,6 p = 0,080	F = 4,8 p = 0,052	<b>F = 5,8</b> <b>p = 0,034</b>	F = 0,7 p = 0,49	<b>F = 7,0</b> <b>p = 0,023</b>	<b>F = 5,0</b> <b>p = 0,017</b>	<b>F = 80,0</b> <b>p &lt; 0,001</b>
Faktor	BZ x Seite x SK		BZ x SK x Lag		BZ x Seite x Lag		Seite x SK x Lag		BZ x Seite x SK x Lag	
Signifikanz	F = 0,6 p = 0,44		F = 3,1 p = 0,078		F = 1,5 p = 0,26		F = 2,4 p = 0,12		<b>F = 3,7</b> <b>p = 0,043</b>	

#### T1

Faktor	BZ	Seite	SK	Lag	BZ x Seite	BZ x SK	BZ x Lag	Seite x SK	Seite x Lag	SK x Lag
Signifikanz	F = 0,0 p = 0,87	F = 3,8 p = 0,076	<b>F = 25,5</b> <b>p &lt; 0,001</b>	<b>F = 209,9</b> <b>p &lt; 0,001</b>	F = 0,3 p = 0,62	F = 2,4 p = 0,15	F = 0,2 p = 0,69	F = 1,8 p = 0,21	F = 0,5 p = 0,59	<b>F = 50,2</b> <b>p &lt; 0,001</b>
Faktor	BZ x Seite x SK		BZ x SK x Lag		BZ x Seite x Lag		Seite x SK x Lag		BZ x Seite x SK x Lag	
Signifikanz	<b>F = 7,1</b> <b>p = 0,022</b>		F = 0,8 p = 0,42		F = 1,3 p = 0,28		F = 1,8 p = 0,20		F = 2,0 p = 0,17	

#### Durch T2 evozierte N2pc - Amplitude

Faktor	BZ	Seite	SK	Lag	BZ x Seite	BZ x SK	BZ x Lag	Seite x SK	Seite x Lag	SK x Lag
Signifikanz	F = 0,0 p = 0,97	<b>F = 13,0</b> <b>p = 0,004</b>	<b>F = 5,1</b> <b>p = 0,045</b>	<b>F = 6,7</b> <b>p = 0,006</b>	F = 2,1 p = 0,18	F = 1,6 p = 0,23	F = 1,0 p = 0,39	F = 0,4 p = 0,54	<b>F = 15,0</b> <b>p &lt; 0,001</b>	F = 1,2 p = 0,32
Faktor	BZ x Seite x SK		BZ x SK x Lag		BZ x Seite x Lag		Seite x SK x Lag		BZ x Seite x SK x Lag	
Signifikanz	F = 0,0 p = 1,0		F = 2,4 p = 0,11		F = 0,4 p = 0,66		F = 0,6 p = 0,58		F = 0,4 p = 0,68	

#### Durch T2 evozierte N2pc - Latenz

Faktor	BZ	Seite	SK	Lag	BZ x Seite	BZ x SK	BZ x Lag	Seite x SK	Seite x Lag	SK x Lag
Signifikanz	F = 0,6 p = 0,44	<b>F = 10,9</b> <b>p = 0,007</b>	F = 0,1 p = 0,75	F = 0,3 p = 0,75	<b>F = 22,2</b> <b>p &lt; 0,001</b>	F = 0,0 p = 0,83	F = 1,3 p = 0,28	F = 4,2 p = 0,065	F = 3,3 p = 0,055	F = 0,5 p = 0,63
Faktor	BZ x Seite x SK		BZ x SK x Lag		BZ x Seite x Lag		Seite x SK x Lag		BZ x Seite x SK x Lag	
Signifikanz	F = 2,3 p = 0,16		F = 0,2 p = 0,83		F = 0,2 p = 0,81		F = 1,0 p = 0,37		F = 1,0 p = 0,40	

Tabelle 7.1

F- und p-Werte der statistischen Berechnung mittels ANOVA der Identifikationsquoten von T1, T2 und der Amplitude und Latenz der durch T2 evozierten N2pc. Signifikante Effekte sind fett gedruckt. In der Tabelle gilt folgende Nomenklatur: BZ = Buchstabe-Ziffer, mit den beiden Teilexperimenten als Bedingungen; Seite = Hiermit ist entweder die Seite des T2 (T2, durch T2 evozierte N2pc) oder die Seite des T1 (T1) gemeint, mit den beiden möglichen Erscheinungsseiten von T1 oder T2 (rechts oder links) als Möglichkeiten; SK = Seitigkeit, mit den beiden Bedingungen, dass T1 und T2 in demselben Stimulusstrom (gleichzeitig) oder aber in verschiedenen Strömen (verschiedenseitig) erscheinen konnten; Lag = Das zeitliche Intervall zwischen T1 und T2, das entweder 130 ms (Lag 1), 390 ms (Lag 3) oder 650 ms (Lag 5) betragen konnte. Die Freiheitsgrade des F-Werts entsprechen  $F_{1,11}$ , außer in den Effekten, in denen der Faktor Lag beteiligt ist, hier entsprechen die Freiheitsgrade  $F_{2,22}$ .

*Durch T1 evozierte N2pc - Amplitude*

Faktor	BZ	Seite	BZ x Seite
Signifikanz	F = 1,1 p = 0,31	<b>F = 5,1</b> <b>p = 0,045</b>	F = 3,3 p = 0,097

*Durch T1 evozierte N2pc - Latenz*

Faktor	BZ	Seite	BZ x Seite
Signifikanz	F = 0,0 p = 0,93	F = 0,3 p = 0,61	F = 0,9 p = 0,36

*Durch T2 evozierte P3 - Amplitude*

Faktor	BZ	Seite	SK	Lag	BZ x Seite	BZ x SK	BZ x Lag	Seite x SK	Seite x Lag	SK x Lag
Signifikanz	<b>F = 4,8</b> <b>p = 0,050</b>	F = 2,5 p = 0,14	F = 1,0 p = 0,33	<b>F = 26,3</b> <b>p &lt; 0,001</b>	F = 1,4 p = 0,26	F = 0,4 p = 0,55	F = 0,8 p = 0,48	F = 0,5 p = 0,50	F = 1,9 p = 0,19	F = 3,3 p = 0,58
Faktor	BZ x Seite x SK		BZ x SK x Lag		BZ x Seite x Lag		Seite x SK x Lag		BZ x Seite x SK x Lag	
Signifikanz	F = 0,0 p = 0,94		F = 0,7 p = 0,52		F = 1,4 p = 0,27		<b>F = 3,7</b> <b>p = 0,050</b>		F = 2,1 p = 0,16	

*Durch T2 evozierte P3 - Latenz*

Faktor	BZ	Seite	SK	Lag	BZ x Seite	BZ x SK	BZ x Lag	Seite x SK	Seite x Lag	SK x Lag
Signifikanz	F = 2,2 p = 0,16	<b>F = 10,1</b> <b>p = 0,009</b>	F = 0,9 p = 0,35	<b>F = 9,8</b> <b>p = 0,001</b>	F = 1,1 p = 0,32	F = 0,1 p = 0,71	<b>F = 4,6</b> <b>p = 0,022</b>	F = 0,0 p = 0,98	F = 0,6 p = 0,55	F = 0,8 p = 0,44
Faktor	BZ x Seite x SK		BZ x SK x Lag		BZ x Seite x Lag		Seite x SK x Lag		BZ x Seite x SK x Lag	
Signifikanz	F = 4,3 p = 0,063		F = 0,1 p = 0,88		F = 0,7 p = 0,51		F = 0,2 p = 0,75		F = 0,0 p = 0,94	

*Durch T1 evozierte P3 - Amplitude*

Faktor	BZ	Seite	BZ x Seite
Signifikanz	F = 0,5 p = 0,49	<b>F = 5,4</b> <b>p = 0,040</b>	F = 0,0 p = 0,91

*Durch T1 evozierte P3 - Latenz*

Faktor	BZ	Seite	BZ x Seite
Signifikanz	F = 0,3 p = 0,60	F = 0,1 p = 0,76	F = 0,6 p = 0,45

*VEPs - Korrelation der Latenzen der VEP-Spannungskurven beider Hemisphären*

Faktor	Seite in Telexperiment Z <sub>B</sub>	Seite in Telexperiment Z <sub>Z</sub>
Signifikanz	t = 1,5, p = 0,16	t = 1,9, p = 0,084

Tabelle 7.2

F- und p-Werte der statistischen Berechnung mittels ANOVA der durch T1 evozierten N2pc, der durch T2 evozierten P3 sowie der durch T1 evozierten P3. Außerdem sind T- und p-Werte der Korrelation der Latenzen der VEP-Spannungskurven dargestellt. Signifikante Effekte sind fett gedruckt. Die Freiheitsgrade des F-Werts entsprechen  $F_{1,11}$ , außer in den Effekten, in denen der Faktor Lag beteiligt ist, hier entsprechen die Freiheitsgrade  $F_{2,22}$ . Die Freiheitsgrade der t-Werte entsprechen  $t_{15}$ . Die Erklärung der in der Tabelle verwendeten Abkürzungen findet sich in der Legende der *Tabelle 7.1*.

## 7.2 Tabellarische Darstellung der F- und p-Werte des Experimentes 2

## T2

Faktor	Seite	SK	Lag	Seite x SK	Seite x Lag	SK x Lag	Seite x SK x Lag	Seite nur T2
Signifikanz	<b>F = 13,4</b> <b>p = 0,002</b>	<b>F = 51,0</b> <b>p &lt; 0,001</b>	F = 0,0 p = 0,86	<b>F = 8,0</b> <b>p = 0,013</b>	<b>F = 7,6</b> <b>p = 0,014</b>	<b>F = 39,0</b> <b>p &lt; 0,001</b>	F = 2,5 p = 0,13	<b>F = 31,5</b> <b>p &lt; 0,001</b>

## T1

Faktor	Seite	SK	Lag	Seite x SK	Seite x Lag	SK x Lag	Seite x SK x Lag	Seite nur T1
Signifikanz	F = 0,1 p = 0,76	<b>F = 10,4</b> <b>p = 0,006</b>	<b>F = 8,0</b> <b>p = 0,013</b>	F = 0,0 p = 0,78	F = 2,2 p = 0,16	<b>F = 15,2</b> <b>p = 0,001</b>	F = 0,7 p = 0,40	F = 0,1 p = 0,73

## Durch T2 evozierte N2pc – Amplitude

Faktor	A	Seite	SK	A x Seite	A x SK	Seite x SK	A x Seite x SK
Signifikanz	F = 1,8 p = 0,20	F = 0,5 p = 0,51	F = 0,0 p = 0,94	F = 3,3 p = 0,089	F = 1,0 p = 0,33	F = 0,2 p = 0,68	F = 0,0 p = 0,98

## Durch T2 evozierte N2pc – Latenz

Faktor	A	Seite	SK	A x Seite	A x SK	Seite x SK	A x Seite x SK
Signifikanz	F = 0,3 p = 0,58	<b>F = 24,2</b> <b>p &lt; 0,001</b>	F = 0,2 p = 0,63	<b>F = 4,8</b> <b>p = 0,045</b>	<b>F = 5,0</b> <b>p = 0,042</b>	F = 3,4 p = 0,087	F = 0,0 p = 0,84

## Durch T1 evozierte N2pc – Amplitude

Faktor	A	Seite	A x Seite
Signifikanz	F = 1,1 p = 0,32	<b>F = 10,6</b> <b>p = 0,005</b>	F = 2,4 p = 0,14

## Durch T1 evozierte N2pc – Latenz

Faktor	A	Seite	A x Seite
Signifikanz	F = 0,0 p = 0,89	F = 2,5 p = 0,13	F = 0,3 p = 0,60

Tabelle 7.3

F- und p-Werte der statistischen Berechnung mittels ANOVA von T1, T2 und Amplitude und Latenz der durch T2 evozierten N2pc und der durch T1 evozierten N2pc. Signifikante Effekte sind fett gedruckt. Die Freiheitsgrade des F-Werts entsprechen durchgängig  $F_{1,15}$ . Die Erklärung der in der Tabelle verwendeten Abkürzungen findet sich in der Legende der *Tabelle 7.1*. In diesem Experiment existierten nur Lag 1 (T2 erschien 130 ms nach T1) und Lag 4 (T2 erschien 520 ms nach T1). *Seite nur T1* bzw. *nur T2* bezeichnet den Faktor der Seite des Erscheinens von T1 bzw. T2 (links oder rechts) für den Fall, dass nur dieser einzelne Zielreiz erschien und der jeweils andere Zielreiz nicht präsentiert wurde. Die Abkürzung A steht für den Faktor Auswertungsmethode, welche die Standardmethode und die neue Auswertungsmethode als Bedingungen beinhaltet.

*Durch T2 evozierte P3 – Amplitude*

Faktor	A	Seite	SK	Lag	A x Seite	A x SK	A x Lag	Seite x SK	Seite x Lag	SK x Lag
Signifikanz	F = 3,2 p = 0,092	<b>F = 21,2</b> <b>p &lt; 0,001</b>	F = 2,9 p = 0,11	<b>F = 6,0</b> <b>p = 0,027</b>	<b>F = 15,9</b> <b>p = 0,001</b>	F = 0,3 p = 0,56	F = 0,2 p = 0,65	F = 0,5 p = 0,50	F = 0,5 p = 0,49	F = 2,6 p = 0,13

Faktor	A x Seite x SK	A x Seite x Lag	A x SK x Lag	Seite x SK x Lag	A x Seite x SK x Lag
Signifikanz	F = 0,9 p = 0,35	F = 0,6 p = 0,46	F = 0,0 p = 0,86	F = 0,6 p = 0,44	F = 0,3 p = 0,62

*Durch T2 evozierte P3 – Latenz*

Faktor	A	Seite	SK	Lag	A x Seite	A x SK	A x Lag	Seite x SK	Seite x Lag	SK x Lag
Signifikanz	<b>F = 6,6</b> <b>p = 0,022</b>	F = 2,1 p = 0,17	F = 3,6 p = 0,076	F = 3,2 p = 0,093	F = 0,6 p = 0,47	F = 0,1 p = 0,82	F = 0,0 p = 0,98	F = 0,2 p = 0,69	F = 0,4 p = 0,55	F = 0,2 p = 0,68

Faktor	A x Seite x SK	A x Seite x Lag	A x SK x Lag	Seite x SK x Lag	A x Seite x SK x Lag
Signifikanz	F = 0,1 p = 0,76	F = 0,3 p = 0,61	F = 0,7 p = 0,42	F = 2,0 p = 0,18	F = 0,1 p = 0,72

*Durch T1 evozierte P3 – Amplitude*

Faktor	Seite
Signifikanz	<b>F = 25,3, p &lt; 0,001</b>

*Durch T1 evozierte P3 – Latenz*

Faktor	Seite
Signifikanz	F = 2,1, p = 0,17

*VEPs – Korrelation der Latenzen der VEP-Spannungskurven beider Hemisphären*

Faktor	Seite
Signifikanz	t = 1,1, p = 0,29

Tabelle 7.4

F- und p-Werte der statistischen Berechnung mittels ANOVA der durch T2 evozierten P3, der durch T1 evozierten P3, sowie des T-Werts der Korrelation der Latenzen der VEP-Spannungskurven. Signifikante Effekte sind fett gedruckt. Die Freiheitsgrade des F-Werts entsprechen durchgängig  $F_{1,15}$ . Der Freiheitsgrad des t-Werts entspricht  $t_{15}$ . Die Erklärung der in der Tabelle verwendeten Abkürzungen findet sich in der Legende der *Tabelle 7.1*. In diesem Experiment existierten nur Lag 1 (T2 erschien 130 ms nach T1) und Lag 4 (T2 erschien 520 ms nach T1). Die Abkürzung A steht für den Faktor Auswertungsmethode, welche die Standardmethode und die neue Auswertungsmethode als Bedingungen beinhaltet.

## 8 Danksagung

Zum Schluss möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die zu dem Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, auch bei denen, die im Folgenden nicht genannt werden.

Ich bedanke mich bei Prof. Dr. Thomas F. Münte für die Möglichkeit, meine Untersuchungen in der von ihm geleiteten Klinik für Neurologie durchführen zu dürfen und für die vertrauensvolle Überlassung des von mir verwendeten Materials.

Ganz ausdrücklich möchte ich mich bei Prof. Dr. Rolf Verleger für die Überlassung des Themas und die ausgezeichnete Betreuung bedanken. Ohne seine raschen und ziel-führenden Anmerkungen wäre es bedeutend schwieriger gewesen diese Arbeit zu vollenden.

Ein großer Dank gebührt Dr. Kamila Śmigasiewicz. Sie war unentbehrlich für das Gelingen der Experimente und deren spätere Auswertung. Auch half sie mir beim Verständnis des theoretischen Hintergrundes und hatte immer ein offenes Ohr für meine Fragen, die an manchen Tagen kein Ende nehmen wollten.

Bedanken möchte ich mich auch bei meinen Eltern, die mich durch die Höhen und Tiefen meines Studiums und dieser Dissertation begleitet haben und immer da waren, wenn ich ihre Hilfe benötigte. Kritisch und konstruktiv haben sie diese Arbeit begleitet. Ich weiß, dass ich mich immer auf sie verlassen kann.

Am Schluss danke ich Sven, der seine Doktorarbeit mit einem so bewundernswerten Elan verfolgte, dass mir keine Wahl blieb als zu versuchen es ihm gleichzutun.

## 9 Lebenslauf

Matthias Liebrand

geboren am 12.06.1986 in Hamburg

### Schulbildung

Juni 2006		Allgemeine Hochschulreife am Gymnasium Grootmoor, Hamburg
-----------	--	---

### Studium

2006 - 2013		Studium der Medizin an der Universität zu Lübeck
März 2009		Erster Abschnitt der ärztlichen Prüfung
Juni 2010 – August 2011		Experimentelle Phase der Dissertation
2012 - 2013		Praktisches Jahr in Lübeck, Zweisimmen (Schweiz) und Ratzeburg
Juni 2013		Zweiter Abschnitt der ärztlichen Prüfung