

Aus der Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und Psychotherapie

der Universität Würzburg

Direktor: Professor Dr. med. J. Deckert

**Elektrophysiologische Korrelate der Konfliktverarbeitung bei
hierarchischen Stimuli mit drei Ebenen**

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der

Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von

Katrin Heuberger

aus Schweinfurt

Würzburg, Juni 2012

Referent: Professor Dr. med. Andreas J. Fallgatter

Korreferent: Professor Dr. med. Marcel Romanos

Dekan: Professor Dr. med. Matthias Frosch

Betreuung durch den Mitarbeiter: Dr. Martin Schecklmann (Dipl.-Psychologe)

Tag der mündlichen Prüfung: 28.02.2013

Die Promovendin ist Ärztin.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
1.1	Grundlagen der Verarbeitung hierarchisch strukturierter Reize	1
1.2	Die Interferenz-Studien von Blasi und Kollegen als Ausgangspunkt für diese Studie	5
1.3	Modelle zum Aufmerksamkeitsfokus	9
1.4	Exkurs - Das Elektroenzephalogramm und ereigniskorrelierte Potentiale – eine allgemeine Einführung	12
2.	Methoden	14
2.1	Stichprobenbeschreibung	14
2.2	Paradigma zur Interferenz und Aufmerksamkeitskontrolle	15
2.3	EEG-Ableitung und -Vorverarbeitung	16
2.4	Datenanalyse	20
3.	Ergebnisse und Diskussion	22
3.1	Voranalyse der Verhaltensdaten	22
3.2	Verhaltensdaten	28
3.3	Elektrophysiologische Daten	32
3.3.1	P1	32
3.3.2	P2	35
3.3.3	N2	38
3.3.4	P3	44
3.3.5	Konklusion und Ausblick	47
4.	Zusammenfassung	49
5.	Literaturverzeichnis	52
6.	Anhang	58

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.	Zweidimensionale Stimuli mit globaler und lokaler Ebene (Navon, 1977)	3
Abbildung 2.	Stimuli und psychologische Prozesse der „variable attentional control task“ nach Blasi et al. (2007)	6
Abbildung 3.	Mögliche Kombinationen der Pfeilstimuli aus Blasi et al. (2005, 2007, 2010)	8
Abbildung 4:	Anwendung des Zoom-Lens-Modells auf das Stimulusmaterial dieser Studie	10
Abbildung 5.	Gesamtmittel („Grand average“) aus allen Signalen und allen Bedingungen.	18
Abbildung 6.	Topographien der ereigniskorrelierten Potentiale P1, P2 und P3	19
Abbildung 7:	Anzahl korrekter Antworten aller Stimuli	23
Abbildung 8:	Reaktionsgeschwindigkeiten aller Stimuli	23
Abbildung 9.	Anzahl korrekter Antworten und Reaktionsgeschwindigkeiten bei ANOVA 1	28
Abbildung 10.	Anzahl korrekter Antworten und Reaktionsgeschwindigkeiten bei ANOVA 2	30
Abbildung 11.	Anzahl korrekter Antworten bei ANOVA 3 und ANOVA 4	31
Abbildung 12.	Latenzzeiten und Amplituden P1, ANOVA 1 und 2	34
Abbildung 13.	Latenzzeiten und Amplituden P1, ANOVA 3 und 4	35
Abbildung 14.	Latenzen und Amplituden P2, ANOVA 1 und 2	36
Abbildung 15.	Latenzen und Amplituden P2, ANOVA 3 und 4	38
Abbildung 16.	Latenzen und Amplituden N2, ANOVA 1 und 2	40
Abbildung 17.	Latenzen und Amplituden N2, ANOVA 3 und 4	43
Abbildung 18.	Latenzen und Amplituden P3, ANOVA 1 und 2	46
Abbildung 19.	Latenzen und Amplituden N2. ANOVA 3 und 4	47

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Ergebnisse der T-Tests für die Verhaltensdaten (Anzahl korrekter Antworten, Reaktionszeiten)	58
Tabelle 2:	Statistische Daten der Verhaltensdaten und ereigniskorrelierten Potentiale zu ANOVA 1-4	60

1. Einleitung

1.1 Grundlagen der Verarbeitung hierarchisch strukturierter Reize

Wie nehmen wir unsere Umwelt wahr? Beim Betreten eines Raumes beispielsweise können wir diffus den gesamten Raum überblicken, aber auch unsere Aufmerksamkeit auf einen im Raum befindlichen Gegenstand fokussieren, z. B. einen Tisch in der Mitte des Raumes. Betrachtet man einzelne Objekte, wird klar, wie komplex unsere Umwelt aufgebaut ist. Die Welt, die wir mit unseren Augen wahrnehmen, d. h. die visuelle Welt, ist hierarchisch organisiert. Gegenstände und Personen bestehen aus mehreren Teilaspekten. Beispielsweise besteht das menschliche Gesicht aus Augen, Mund, Nase etc. oder ein Haus aus Türen, Fenstern, aus Wand und Dach. Proverbio et al. (1998) veranschaulichen diesen hierarchischen Aufbau der visuellen Welt anhand eines Keyboards, dessen Gesamtheit aus mehreren Tasten aufgebaut ist. Um nun in einer Umwelt, die aus mehreren hierarchischen Ebenen besteht, agieren zu können, muss es dem menschlichen Gehirn möglich sein, zwischen den einzelnen Ebenen hin- und herzuwechseln. Wie wäre sonst eine Teilnahme am Straßenverkehr möglich? Fußgänger, Radfahrer, Ampeln, aber auch das „große Ganze“, die Kreuzung, muss scheinbar gleichzeitig überblickt werden. In diesem Zusammenhang spricht die Wissenschaft von „Globalität“ und „Lokalität“ bzw. globaler und lokaler visueller Information (Malinowski, 2001). Das von Proverbio et al. (1998) als Beispiel angebrachte Keyboard stellt in seiner Gesamtheit eine globale visuelle Information dar, die Keyboard-Tasten hingegen sind lokale visuelle Informationen. Nun stelle man sich aber vor, man betrete einen Raum, in dem sich ein Keyboard und andere Einrichtungsgegenstände befinden. In diesem Fall ist der Raum an sich die globale Information, das Keyboard die lokale Information. Insofern sind die Begriffe „Globalität“ und „Lokalität“ nie absolut, sondern lediglich relativ zu sehen. Auch als relativ oder subjektiv anzusehen ist, was bei der Betrachtung von hierarchisch aufgebauten Gegenständen, Personen oder Situationen für den Betrachter stimmig und zusammenpassend erscheint und was nicht. Nehmen wir wieder den mit Einrichtungsgegenständen gefüllten Raum als Beispiel. Für den einen mag die Zusammenstellung von Möbeln und Bildern als stimmig, für den anderen Betrachter als unstimmig und nicht zusammengehörig erscheinen. Um experimentell

untersuchen zu können, inwiefern lokale „Unstimmigkeiten“ bei der Verarbeitung globaler Information eine Rolle spielen oder nicht, musste man Stimulusmaterial schaffen, welches aus globaler und lokaler Information besteht und bei dem man lokale Information in Inkongruenz zu globaler Information setzen kann und umgekehrt. Um Aussagen darüber machen zu können, welche Bereiche des zentralen Nervensystems an der Verarbeitung globaler und lokaler und auch kongruenter und inkongruenter Information beteiligt sind, müssen globale und lokale Merkmale unabhängig voneinander miteinander variiert werden. Lokale Elemente stehen aber häufig in einem semantischen Zusammenhang mit den globalen Elementen. Nehmen wir als Beispiel den menschlichen Körper. Der menschliche Körper ist dadurch gekennzeichnet, dass er aus je zwei Armen und Beinen, aus einem Kopf mit Nase, Mund, Augen etc. besteht. Verändert man die lokalen Objekte und ersetzt z. B. die Beine durch zwei Besenstiele und die Nase durch eine Zwiebel, wird es schwierig, noch von dem globalen Objekt „menschlicher Körper“ zu sprechen. Dieses Beispiel soll verdeutlichen, dass es bei Objekten, bei denen die globale Ebene in semantischem Zusammenhang mit der lokalen Ebene steht, eine der beiden Ebenen nicht verändert werden kann, ohne die andere Ebene zu beeinflussen (Malinowski, 2001). Navon schuf 1977 als erster Wissenschaftler einen Stimulus, bei dem die lokale Ebene unabhängig von der globalen Ebene und umgekehrt verändert werden konnte (Abbildung 1, Navon et al., 1977).

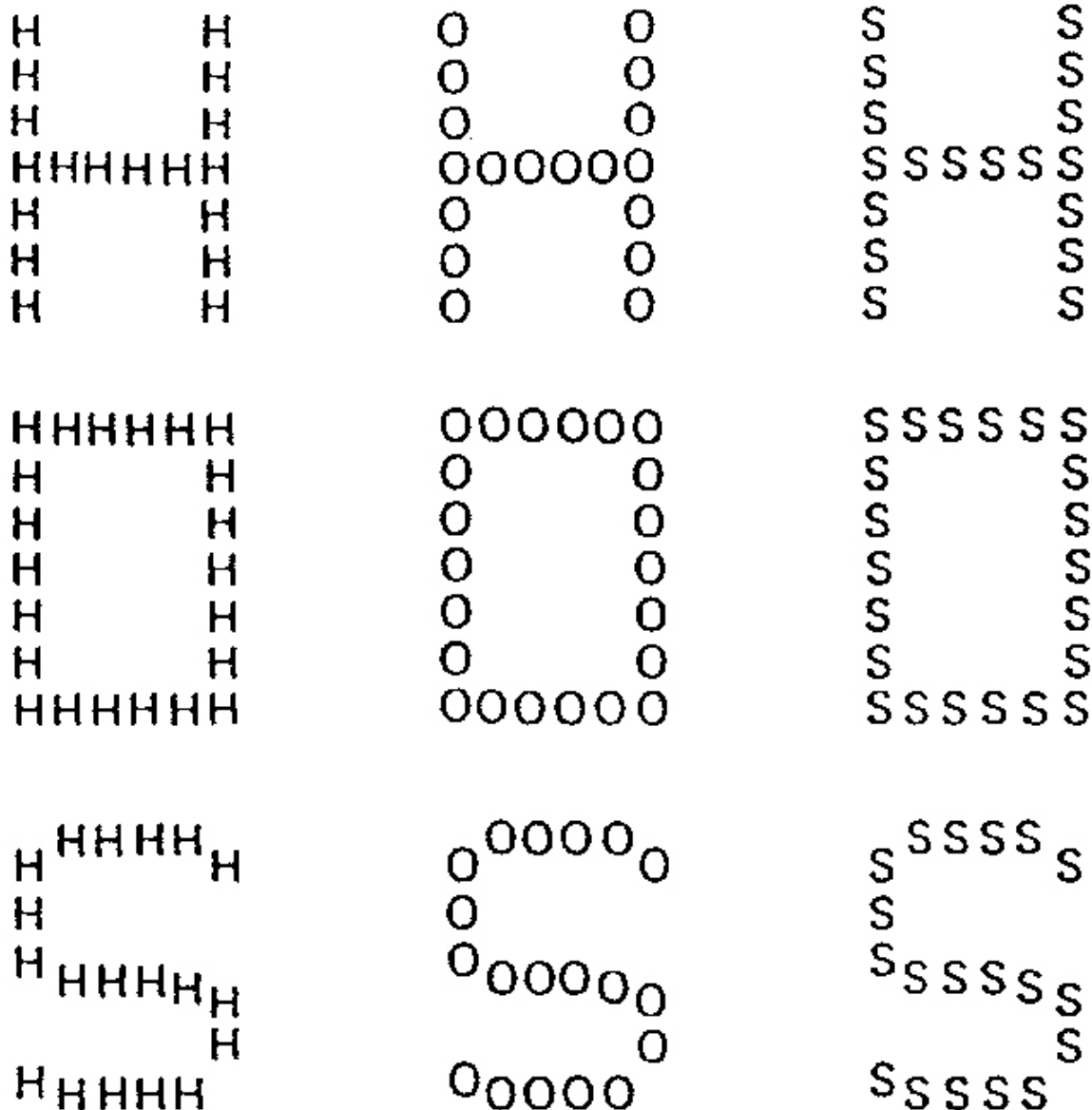


Abbildung 1: Zweidimensionale Stimuli mit globaler und lokaler Ebene (Navon, 1977)

War der globale, große Buchstabe mit den lokalen, kleinen Buchstaben identisch, so bezeichnete Navon den Stimulus als konsistent, bei Verschiedenartigkeit von globaler und lokaler Ebene als inkonsistent. Im Folgenden werden dafür synonym auch die Begriffe kongruent und inkongruent verwendet. Die Probanden mussten nun je nach Instruktion die globale Ebene, d. h. den großen Buchstaben, oder die lokale Ebene, d. h. die kleinen Buchstaben, fokussieren und durch entsprechenden Tastendruck so schnell wie möglich identifizieren. Ziel dieser Untersuchung war, herauszufinden, ob die globale oder die lokale Ebene eines Reizes kognitiv schneller verarbeitet wird. Navons Antwort hierauf war folgende: „ (...) a scene is decomposed rather than built up“ (Navon, 1977). So nimmt der Betrachter offensichtlich zuerst die

globale Struktur eines Stimulus wahr und dann – nach und nach – die lokalen Elemente. Auf diese Weise verarbeitet das perzeptuelle System jede Szene so, als ob das visuelle System mit einem anfänglichen Weitwinkel arbeitet und erst in einem langsamer ablaufendem Schritt in die untergeordnete Ebene „hineinzoomt“ und diese – anfangs noch relativ verschwommen – immer klarer und schärfer wird. Navon (1977) zeigte als erster durch Messungen von Reaktionszeiten, dass die Analyse von globalen Anordnungen eine Überlegenheit gegenüber der Analyse von lokalen Elementen zeigt. Mussten Probanden globale Objekte identifizieren, waren die Reaktionszeiten kürzer als bei der Identifikation von lokalen Stimuli. Dieses Phänomen bezeichnet man als globalen Vorteil, welcher sich durch eine schnellere oder frühere Verarbeitung globaler Reize im Vergleich zu lokalen Reizen erklären lässt (Malinowski, 2001). Waren globale und lokale Elemente inkongruent zueinander und mussten die lokalen Elemente identifiziert werden, beeinflusste die globale Inkongruenz die Identifikation der lokalen Elemente, was zu verlangsamten Reaktionszeiten führte. Dieser „Interferenz-Effekt“ wurde nicht gefunden, wenn die globale Ebene fokussiert wurde, weswegen man auch vom globalen Interferenz-Effekt spricht. Globaler Interferenzeffekt und globaler Vorteil werden bei Navon (1977) und auch in späteren Studien unter dem Begriff der „globalen Präzedenz“ zusammengefasst. In den darauffolgenden Jahren untersuchten zahlreiche Studien den globalen Interferenzeffekt. Hier konnte gezeigt werden, dass die globale Präzedenz nicht als allgemein gültig anzusehen ist, sondern vielmehr von vielen Faktoren wie Größe, Sehwinkel, Symmetrie der globalen Struktur, Anzahl der lokalen Elemente und „guter Gestalt“ (Gestaltpsychologie) des Stimulus abhängig ist (Rijpkema et al., 2007; Stoffer et al., 1991). Heinze und Münte z. B. untersuchten 1993 mit hierarchisch aufgebauten zweidimensionalen Buchstaben als Stimulusmaterial die Abhängigkeit der Interferenz vom Sehwinkel. Verhaltensdaten zeigten einen lokalen Vorteil bei großem und einen globalen Vorteil bei kleinem Sehwinkel. Andere Forschungsgruppen erhöhten die Zahl an Dimensionen des Stimulusmaterials und nahmen Untersuchungen an Stimuli vor, die aus drei Dimensionen der Aufmerksamkeitszuwendung bestanden (Blasi et al, 2005, 2007; Greaney und MacRae, 1992; Kim et al., 1999; Rijpkema et al., 2007; Stoffer et al., 1991). Auch diese Studien konnten Navons Annahme einer globalen Präzedenz nicht bestätigen, denn auch hier zeigte sich die Bearbeitung von hierarchisch aufgebautem, mehrdimensionalem Stimulusmaterial von wie schon oben erwähnten

verschiedensten Faktoren abhängig. Dreidimensionale hierarchische Stimuli eignen sich hervorragend dazu, durch Verschiedenartigkeit der einzelnen Ebenen inkongruentes Stimulusmaterial zu erzeugen und die Auswirkungen der Inkongruenz oder Interferenz auf Verhaltens- oder elektroфизиologische Daten zu untersuchen. Anders als bei zweidimensionalen Reizen können Faktoren wie Randständigkeit gut kontrolliert werden. Zudem ist es auch möglich, den Einfluss der Verarbeitung zweier Ebenen (beide lokal, beide global, eine lokal und eine global) auf die Verarbeitung einer anderen zu untersuchen.

Eine der ersten wegweisenden Untersuchungen zum Thema Interferenz ist die von Eriksen A. und Eriksen W. mit dem Titel „Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task“, auch bekannt als „Eriksen flanker task“ aus dem Jahre 1974 (Eriksen und Eriksen, 1974). Hier wurden dem Probanden auf einem Bildschirm einer von vier Buchstaben präsentiert. Bei den Buchstaben H und K sollte ein Hebel nach rechts, bei den Buchstaben S und C nach links gedrückt werden. Die Buchstaben waren teilweise von identischen, teilweise von nicht identischen Buchstaben flankiert. Lediglich die Anwesenheit von inkongruenten Buchstaben verlängerte die Reaktionszeit des Probanden bei der Identifikation des Zielbuchstabens („target“). Die Reaktionszeiten für die Bedingungen mit inkongruenten Buchstabenkombinationen zeigten signifikant längere Reaktionszeiten als die mit kongruenten Buchstabenkombinationen (Eriksen und Eriksen, 1974). So wurde gezeigt, dass die Verarbeitung von Zielstimuli durch andere, den Zielstimulus umgebende Buchstaben in ihrer Geschwindigkeit beeinflusst werden konnte. Gerne werden auch Pfeilstimuli verwendet, da hier eine Stimulus-Antwort-Reaktion nicht gelernt werden muss. Ein Pfeil gibt direkt an, welche Taste gedrückt werden muss. Die einzigen Arbeiten, die bei dreidimensionalen Stimuli Pfeile verwendeten, waren die von Blasi und Kollegen (Blasi et al., 2005, 2007).

1.2 Die Interferenz-Studien von Blasi und Kollegen als Ausgangspunkt für diese Studie

Das in dieser geplanten Studie angewandte Paradigma bezieht sich auf genau diese Untersuchungen von Blasi und Kollegen (Blasi et al., 2005, 2007), die ihr verwendetes Paradigma als eine Aufgabe zur Aufmerksamkeitskontrolle (VAC, engl. „variable attentional control“) bezeichnet haben. Aufmerksamkeitskontrolle definieren die Autoren als „die Eigenschaft, seine Gedanken und sein Verhalten flexibel auf ein

Ziel ausrichten zu können, indem man Informationen selektiert und integriert“ (übersetzt aus dem Englischen; Blasi et al., 2007). Als Stimulus-Material wurden Pfeilstrukturen verwendet, die hierarchisch aus drei unterschiedlich großen Pfeilen zusammengesetzt waren. Ein großer Pfeil bestand je aus sechs mittleren Pfeilen, ein mittlerer Pfeil aus je sieben kleinen Pfeilen (siehe Abb. 2). Je nach Anordnung der Pfeilrichtung auf den verschiedenen Ebenen können die Stimuli unterschiedlich kongruent bzw. inkongruent sein.

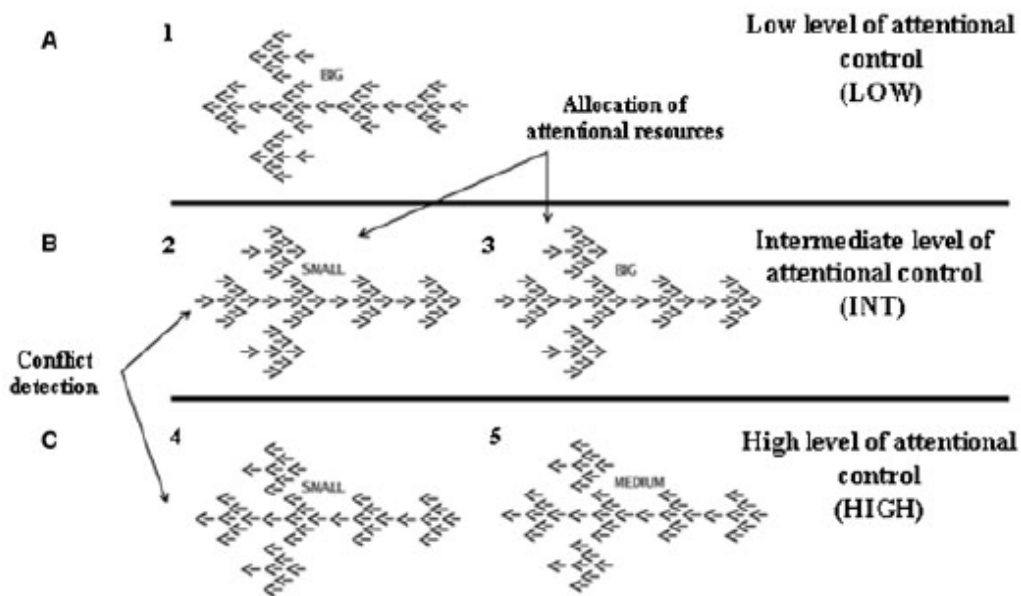


Abbildung 2: Stimuli und psychologische Prozesse der „variable attentional control task“ nach Blasi et al. (2007).

Dieser hierarchische Aufbau des Pfeilbildes, bestehend aus globaler, mittlerer und lokaler Information, entspricht anderen Objekten der visuellen Welt. Die Gruppe um Blasi untersuchte mit Hilfe der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT) die neuronalen Korrelate der Aufmerksamkeitskontrolle. Die verwendete Aufgabe bietet in der Terminologie von Blasi und Kollegen die Möglichkeit, die psychologischen Prozesse Konflikterkennung („conflict detection“, Abb. 2) und Aufmerksamkeitszuwendung („allocation of attentional resources“, Abb. 2) zu messen. Nach den Autoren bezeichnet Konflikterkennung die Fähigkeit, konflikthaltige Information zu erkennen (Blasi et al., 2007). Je nach Kongruenz oder Inkongruenz des Pfeilbildstimulus ist das Konfliktpotential des Stimulus unterschiedlich. Wenn z. B. die kleine, die mittlere und die große Pfeilstruktur in dieselbe Richtung zeigen, ist das Konfliktpotential/ die Konflikterkennung des Stimulus gering. Abbildung 2 zeigt den entsprechenden Kontrast, der die Konflikterkennung messbar macht. Die zweite Komponente

Aufmerksamkeitszuwendung wird moduliert über die Instruktion, die über dem Stimulus präsentiert wird. Der Prozess wird abgebildet über Kontraste zwischen Stimuli mit *gleichem* Konfliktpotential und der Aufforderung, auf verschiedene Ebenen zu achten. Zusätzlich sprechen Blasi und Kollegen auch direkt von verschiedenen Niveaus der Aufmerksamkeitskontrolle selbst (LOW, INT, HIGH in Abb. 2). Diese Niveaus waren definiert über die Schwierigkeit, also Anzahl an Fehlern, und die Schnelligkeit der Reaktion (Blasi et al., 2007). Aufmerksamkeitskontrolle bezeichnet in diesem Sinne eine Abstufung mentaler Beanspruchung, deren drei Stufen ein Gemisch aus verschiedenen Niveaus an Konflikterkennung und Aufmerksamkeitszuwendung darstellen.

Bei genauerer Betrachtung der Blasi-Stimuli (Abbildung 2) erkennt man, dass Aufmerksamkeitskontrolle und Konflikterkennung konfundiert bzw. nicht klar voneinander getrennt sind. Die Konflikterkennung soll bei Blasi durch den Kontrast zweier Stimuli gemessen werden, die unterschiedlich in ihrem Konfliktpotential sind. Allerdings sind diese Stimuli auch unterschiedlich in ihrem Erscheinungsbild - die Stimuli sehen nicht gleich aus. So ist das Ergebnis insofern nicht eindeutig, als man nicht davon ausgehen kann, dass Reaktionszeitveränderungen und Änderungen in der fMRT-Aktivität nicht alleine auf das unterschiedlich große Konfliktpotential zurückgeführt werden können, sondern auch auf die verschiedenartige Gestalt des Stimulus. Der Kontrast für die Aufmerksamkeitsverlagerung ist auch nicht optimal gewählt, da zu erwarten ist, dass - auch wenn die Stimuli die gleichen sind - die Fokussierung verschiedener Ebenen mit einer veränderten Konflikthaftigkeit der Stimuli einhergeht. Wie in Kapitel 1.1 dargestellt, spielen Faktoren wie Nähe der flankierenden Reize eine entscheidende Rolle bei dem Kongruenzeffekt. Bei Stimulus 2 in Abbildung 2 ist die benachbarte Ebene kongruent (Fokussierung der lokalen Ebene mit Pfeilrichtung rechts, mittlere Ebene mit Pfeilrichtung rechts), bei Stimulus 3 ist sie inkongruent (Fokussierung der globalen Ebene mit Pfeilrichtung links, mittlere Ebene mit Pfeilrichtung rechts). Auch ist problematisch, dass die Autoren nur einen Teil möglicher Stimuli verwendeten (fünf von zwölf möglichen Kombinationen der drei Ebenen, siehe Abbildung 3). Auch wurden wohl die spiegelbildlichen Reize nicht verwendet. Zumindest wird das in den Arbeiten nicht explizit erwähnt. Deshalb könnten die Ergebnisse auch einen Lateralitätseffekt widerspiegeln. Die gerechneten Kontraste beziehen sich auf ganz spezielle Reize. Würde man alle zwölf möglichen Pfeilbildkombinationen verwenden (siehe Abb. 3),

könnte man versuchen, die Konfundierung von Aufmerksamkeitszuwendung und Konflikterkennung zu umgehen, indem man eruiert, ob relevante Kontraste ohne Konfundation existieren.

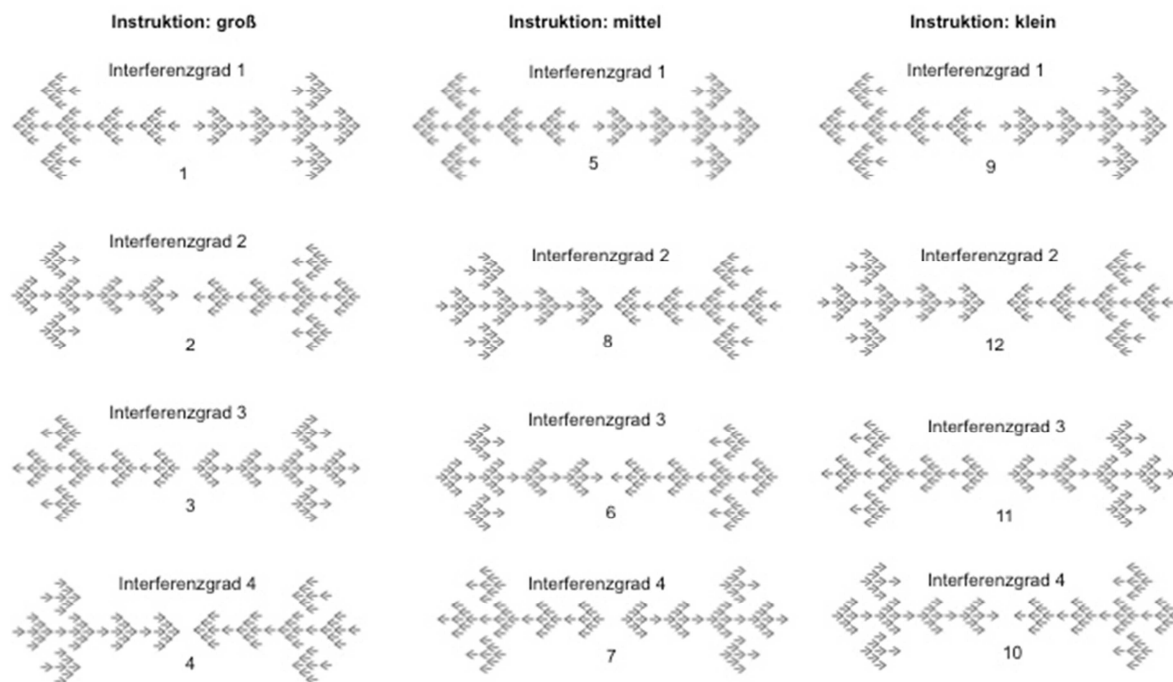


Abbildung 3: Mögliche Kombinationen der Pfeilstimuli aus Blasi et al. (2005, 2007, 2010)

Die in Abbildung 3 dargestellten Stimuli sollen in der geplanten Untersuchung verwendet werden. Auch erfolgt die Einteilung der Bedingungen nicht wie zum Teil bei Blasi und Kollegen durch Verhaltensmaße, sondern zusätzlich durch inhaltliche Überlegungen. Deshalb findet in der geplanten Untersuchung auch eine andere Terminologie Verwendung. Den Grad der Inkongruenz eines Stimulus bezeichneten Blasi und Kollegen 2007 als Konflikterkennung („Conflict detection“). In unserer Studie beschreiben die sich innerhalb einer Instruktion befindlichen vier Interferenzgrade einen Schwierigkeitsgrad, welcher durch die Verhaltensdaten und durch inhaltliche Überlegungen hergeleitet wird. Bei unserem Paradigma befinden sich auf jeder Aufmerksamkeitsebene („groß“, „mittel“ und „klein“) je vier Pfeilstrukturkombinationen. Die Pfeilstrukturen entstanden durch die Kombination von allen möglichen nach rechts und links weisenden Pfeilstrukturen auf allen drei Ebenen. Bei Stimulus 1, 5 und 9 zeigen die große, die mittlere und die kleine Pfeilstruktur in die gleiche Richtung. Stimulus 2, 6 und 10 enthalten zwei Pfeilstrukturen (großer und mittlerer Pfeil), die in die dem kleinen Pfeil entgegengesetzte Richtung zeigen. Betrachtet man die Stimuli 3, 7 und 11, weisen die große

und die kleine Pfeilstruktur in die gleiche, die mittlere Pfeilstruktur in die entgegengesetzte Richtung. Bei Stimulus 4, 8 und 12 zeigt die große Pfeilstruktur in die dem mittleren und kleinen Pfeil entgegengesetzte Richtung. Dies sind die Pfeilstrukturen, die in unserer Studie den Probanden bei den verschiedenen Instruktionen präsentiert und von ihnen visuell wahrgenommen wurden. Sie stellen durch die unterschiedliche Richtungsweisung der Pfeilstrukturen auf allen drei Ebenen für sich genommen verschiedene Interferenz- oder Konfliktgrade dar.

1.3 Modelle zum Aufmerksamkeitsfokus

Spricht man von Wahrnehmung, geht die Wissenschaft heute grundsätzlich davon aus, dass es dem menschlichen Gehirn möglich ist, mittels verschiedener Filtersysteme des Wahrnehmungssystems Informationen zu selektieren und Aufmerksamkeit zu fokussieren. So wird die Aufmerksamkeit bei persönlicher Relevanz automatisch selektiert. Ein Beispiel hierzu ist das „Cocktailpartyphänomen“, bei dem man sich im Stimmgewirr bewusst auf eine Stimme fokussieren kann (Broadbent, 1958; <http://de.wikipedia.org/wiki/Aufmerksamkeit>). Ebenso nimmt man an, dass Aufmerksamkeit auf einen bestimmten Punkt des visuellen Feldes ausgerichtet werden kann. Hierbei ändert sich die Größe des Aufmerksamkeitsfokus mit der Größe des visuellen Stimulus (La Berge, 1983; Eriksen und Hoffman, 1973). Als Aufmerksamkeitsfokus bezeichnen wir den Bereich eines visuellen Feldes, auf den sich ein Proband willentlich konzentriert. In unserem Paradigma wird der „Aufmerksamkeitsfokus“ durch die Instruktionen „groß“, „mittel“ oder „klein“ vorgegeben, d. h. der Proband fokussiert seine Wahrnehmung auf die große, mittlere oder kleine Pfeilstruktur.

Die meisten Forschungsergebnisse bezüglich verschiedenster Interferenz-Paradigmen können anhand des „Spotlight“- (Broadbent, 1982; James 1890; LaBerge 1983; Posner et al., 1980) oder „Zoom-lens“-Modells (Eriksen und Murphy, 1987, Eriksen und James, 1986) erklärt werden, nach dem wir unsere Aufmerksamkeit wie mit einem Scheinwerfer („spotlight“) auf verschieden große visuelle Eindrücke fokussieren und dabei den Lichtkegel um mehrere Sehwinkelgrade variieren können. Dabei gilt, dass die Aufmerksamkeit im Zentrum des Spotlights am größten ist und in der Peripherie abnimmt, wobei aber die

kognitive Verarbeitung aller Teile des Spotlights umso schlechter wird, je größer das Spotlight ist. Nach La Berge kann ein kleinerer Aufmerksamkeitsfokus, wie z. B. ein Buchstabe eines Wortes mit mehr „Energie“ verarbeitet werden als ein größerer visueller Aufmerksamkeitsfokus, z. B. ein ganzes Wort. Nach diesem inversen Größe-Energie-Verhältnis sind nach La Berge nah an fokussierte Teile eines visuellen Objektes schneller zu verarbeiten als ein größeres visuelles Objekt (La Berge 1983).

Abbildung 4 zeigt einen Teil des Stimulusmaterials unserer Studie. Bei der Instruktion „groß“ fokussiert der Proband das große Pfeilbild. Da das große Pfeilbild hier im „Spotlight“ liegt und damit die kognitive Verarbeitung aller Teile schlechter ist als bei kleinem fokussierten Bereich, haben wir das Pfeilbild bei der Instruktion „groß“ zur Verdeutlichung verschwommen dargestellt. Bei der Instruktion „mittel“ wird der mittelgroße Pfeil fokussiert. Die kleinen Pfeile liegen hierbei im Bereich höherer Auflösung. Der große Pfeil hingegen liegt im Bereich geringerer Auflösung. Bei der Instruktion „klein“ betrachtet der Proband den kleinen Pfeil: Der kleine Pfeil kann nach der „Spotlight“- oder „Zoomlens“-Theorie am besten verarbeitet werden, der mittlere Pfeil liegt zwar nicht mehr im Zentrum des „Spotlight“, liegt aber näher am Aufmerksamkeitsfokus als die große Pfeilstruktur und kann aus diesem Grund besser verarbeitet werden als die große Pfeilstruktur.

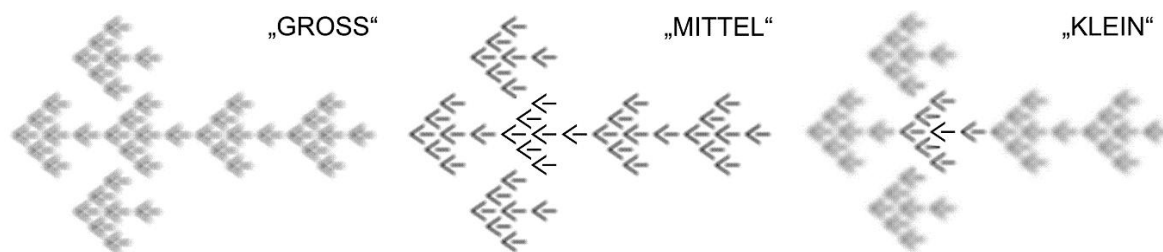


Abbildung 4: Anwendung des Zoom-lens-Modells auf das Stimulusmaterial dieser Studie

Hier ein kleines Gedankenspiel: Beispielsweise bei Betrachtung des mittleren Pfeiles von Stimulus Nr. 6 in Abbildung 3 liegen die Pfeile der lokalen Ebene entgegengesetzt zu den Pfeilen der mittleren und globalen Ebene. Bei Stimulus 6 soll die mittlere Ebene betrachtet werden, d. h. die mittlere Ebene wird fokussiert bzw. die Linse wird für diese Ebene scharf gestellt (vgl. Abbildung 4). Die lokale inkongruente Ebene fällt hier auch in den scharfen Bereich des Spotlights. Da die in die entgegengesetzte Richtung zeigenden kleinen Pfeile mit im Zentrum des Spotlights sind, erhöhten sie so das Konfliktpotential des Stimulus, wohingegen der große in die

entgegengesetzte Richtung zeigende Pfeil weniger Auswirkung auf das Konfliktpotential oder den Interferenzgrad hat, da er nicht mit im Spotlight, also dem Zentrum der größten Aufmerksamkeit, liegt.

Anhand dieser Überlegungen und anhand der Verhaltensdaten legten wir für jede Instruktion unsere Interferenzgrade fest. Je höher der Interferenzgrad, desto mehr Fehler und desto langsamer sollte reagiert werden. Zusätzlich erlauben auch bestimmte Kontraste die Abbildung des Interferenzniveaus unabhängig von den Stimuli und der Instruktion/Aufmerksamkeitszuwendung an sich, indem zwei Bedingungen gegen zwei andere getestet werden. Eine Kontraststufe besteht aus zwei Stimuli, die sich in der Instruktion/Aufmerksamkeitszuwendung und im Stimulus selbst unterscheiden. Für die andere Kontraststufe werden die gleichen Stimuli verwendet, nur sind die Instruktion/ Aufmerksamkeitszuwendung getauscht. Die gleichen Stimuli können auch zur Untersuchung der Aufmerksamkeitszuwendung unabhängig vom Interferenzniveau verwendet werden. Nehmen wir beispielsweise die Stimuli 2, 4, 10 und 12 (Abb. 3). Der Stimulus 2 spiegelt das gleiche Interferenzniveau wie Stimulus 12 wider. Das gilt auch für die Stimuli 4 und 10. Allerdings haben die Stimuli 2 und 12 ein geringeres Konfliktpotential als Stimulus 4 und 10. Stimulus 2 und Stimulus 4 haben das gleiche Aufmerksamkeitsniveau, Stimulus 10 das gleiche wie Stimulus 12. Der Kontrast 2+12 vs. 4+10 spiegelt die Konflikterkennung wider, wobei beide Kontraststufen die gleichen Stimuli und die gleichen Instruktionen beinhalten, d.h. der Kontrast Konflikterkennung ist kontrolliert für das Aussehen der Stimuli und die Aufmerksamkeitszuwendung. Der Kontrast 2+4 vs. 10+12 spiegelt die Aufmerksamkeitszuwendung wider, die Instruktionen der beiden Kontraststufen unterscheiden sich. Hier ist für die Konflikthaftigkeit und die Stimuli kontrolliert. Statistisch kann dies leicht durch eine zweifaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) operationalisiert werden (vgl. hierzu auch Kap. 2.4).

So beschäftigen wir uns hier mit klaren kognitiven Prozessen: Anhand dieser Vorüberlegungen zum variablen Aufmerksamkeitsfokus („spotlight“ bzw. „zoomlens“) ist das Ziel der vorliegenden Studie, die kognitiven Prozesse der Interferenz und der Aufmerksamkeitszuwendung getrennt zu untersuchen und die Konfundation beider Prozesse zu vermeiden. Dazu muss der Einfluss des Aufmerksamkeitsfokus miteinbezogen werden. Blasis vorangehende Untersuchungen zur „Aufmerksamkeitskontrolle“ allerdings basierten wie oben beschrieben auf Konfundationen der Variablen „Konflikterkennung“ und

„Aufmerksamkeitszuwendung“ sowie einer insgesamt „schwammigen“ Definition der „Aufmerksamkeitskontrolle“ - eine Definition über die Schwierigkeit ohne Berücksichtigung der wechselseitigen Prozesse der Aufmerksamkeitszuwendung und Konflikterkennung. Konfundiert waren beide Prozesse, da der Einfluss des Aufmerksamkeitsfokus ignoriert wurde. Zudem wurde auch eine Konfundierung der verwendeten Kontraste mit dem Stimulusmaterial an sich nicht berücksichtigt. Kontraste, die unter Berücksichtigung des Aufmerksamkeitsfokus Interferenz oder Aufmerksamkeitszuwendung klar getrennt voneinander untersuchen, sollten sich aber auch nicht nach dem Stimulusmaterial unterscheiden. Ein weiterer Vorteil unserer Untersuchung im Vergleich zu anderen Studien ist, dass keine Stimulus-Antwort-Verknüpfung geübt und erlernt werden muss, denn viele Arbeiten zu mehrdimensionalen hierarchischen Reizen verwendeten bisher Material, das keine direkte Information über die zu drückende Taste gibt wie bei unserem Pfeilmaterial. Oftmals waren es Buchstaben, die wieder aus Buchstaben zusammengesetzt sind. Es muss erst eine Stimulus-Antwort-Verknüpfung geübt und gelernt werden (z.B. Han et al., 2007; Heinze und Münte, 1993; Johnson et al., 2005; Kotchoubey et al., 1997). Die Literatur zu hierarchischen Stimuli wird dominiert von Arbeiten mit ereigniskorrelierten Potentialen (EKPs; siehe Kapitel 1.3). Deshalb wurde für die vorliegende Arbeit auch das Elektroenzephalogramm anstelle des fMRT wie in den Arbeiten von Blasi und Kollegen verwendet.

1.4 Exkurs - Das Elektroenzephalogramm und ereigniskorrelierte Potentiale – eine allgemeine Einführung

1929 gelang es Hans Berger durch eine Reihe von bemerkenswerten Experimenten, die elektrische Aktivität des menschlichen Gehirns nachzuweisen. Die Messmethode dieser elektrischen Aktivität wurde Elektroenzephalogramm oder EEG genannt. Das Elektroenzephalogramm stellt die erste Methode dar, direkt und nicht-invasiv menschliche Hirnaktivität zu messen (Woodman, 2010) und stellte sich sowohl in wissenschaftlicher als auch in klinischer Hinsicht als sehr hilfreich dar. Das EEG in seiner Rohform jedoch war und ist nicht dazu geeignet, hochspezifische neuronale Prozesse, die den Schwerpunkt der kognitiven Neurowissenschaften darstellen zu beurteilen. Eine Limitierung des EEG ist, dass es ein Gemisch aller Neuronenaktivitäten präsentiert. Genau dies macht es schwierig, spezifische neurokognitive Prozesse zu isolieren. Mittels einfacher Mittelungsberechnungen

wiederholt präsentierter Reize gelang es jedoch, die neuronalen Antworten auf sensorische, kognitive und motorische Stimuli aus dem Gesamt-EEG zu isolieren. Diese spezifischen Antworten wurden ereigniskorrelierte Potentiale (EKPs) genannt, was verdeutlicht, dass diese elektrischen Potentiale mit spezifischen Reizen („event“) assoziiert sind (Luck, 2005). Ereigniskorrelierte Potentiale bezeichnen elektrische Spannungsschwankungen, die vor, während oder nach einem sensorischen, motorischen oder kognitiven Ereignis im Elektroenzephalogramm (EEG) auftreten (Birbaumer und Schmidt, 1995). Die zeitlich nacheinander auftretenden positiven und negativen Potentialschwankungen ereigniskorrelierter Potentiale werden als Komponenten bezeichnet. Sie lassen sich durch ihre Polarität (positiv/negativ), Latenz (in Millisekunden, ms) und Amplitude (Spannung in Mikrovolt, μV) näher beschreiben. Zur Untersuchung von Aufmerksamkeit und Interferenz bei hierarchischem Stimulusmaterial, was in dieser Studie Ziel sein soll, wurde in zahlreichen anderen Studien gezeigt, dass sich hierfür ereigniskorrelierte Potentiale (EKPs, ERPs) besonders gut eignen. In Vorgängerstudien wurden die ereigniskorrelierten Potentiale P1, P2, N2 und P3 untersucht, wie es auch in unserer Studie der Fall ist. Vorweg sei gesagt, dass die Latenz eines solchen Potentials den Zeitaspekt des kognitiven Verarbeitungsprozesses widerspiegelt, während seine Amplitude mit dem Ausprägungsgrad der Verarbeitung korreliert (Rösler, 1982). Doch warum haben neue Untersuchungsmethoden der kognitiven Neurowissenschaften, wie z. B. die fMRT (funktionelle Magnetresonanztomographie) oder die PET (Positionenmissionstomographie) ältere Untersuchungstechniken wie die ERPs nicht obsolet gemacht bzw. warum haben wir in unseren Untersuchungen nicht wie Blasi und Kollegen die fMRT verwendet? Woodman beantwortet diese Frage recht prägnant: „By time“ (Woodman, 2010). EKPs haben unter optimalen Bedingungen eine zeitliche Auflösung von einer Millisekunde oder weniger bei einer Latenz der EKPs im zwei- bis dreistelligen Millisekunden-Bereich, wohingegen hämodynamische Messmethoden wie die fMRT oder PET eine zeitliche Auflösung im Bereich von Sekunden haben und die Hämodynamik eine Latenz von mehreren Sekunden aufweist (Luck, 2005). Da viele Aspekte der Wahrnehmung und der Aufmerksamkeit nur einige Millisekunden lang in Erscheinung treten, ist es sinnvoll, sich bei Untersuchungen zum Thema „Aufmerksamkeit“ der EKPs und nicht der fMRT oder der PET zu bedienen. Konkret bedeutet das, dass in der vorliegenden Untersuchung Prozesse der Aufmerksamkeit und Interferenz bestimmten Zeitpunkten

in der kognitiven Verarbeitung zugeordnet werden können. Zudem stellen die EKPs im Gegensatz zu mikroelektrodischen Messungen eine non-invasive Untersuchungsmethode dar, sie sind damit auch zu wissenschaftlichen Zwecken beim Menschen anwendbar und im Vergleich mit hämodynamischen (PET, fMRT) und mikroelektrodischen Methoden die kostengünstigste wissenschaftliche Methode zur Untersuchung von Hirnaktivität (Luck, 2005).

2. Methoden

2.1 Stichprobenbeschreibung

An der Untersuchung nahmen ursprünglich 71 gesunde Probanden teil. Sechs Personen dieser Probandengruppe wurden aufgrund von Amplitudenartefakten im EEG, vier aufgrund einer a priori definierten zu hohen Fehlerquote (10%) und zwei aufgrund technischer Probleme bei der Aufzeichnung der Daten ausgeschlossen. In die Auswertung gingen also 59 Probanden ein.

Ausschlusskriterien waren neurologische und psychiatrische Erkrankungen, Einnahme von psychotropen Substanzen sowie schwere internistische Erkrankungen. Durch Interview und mit Hilfe eines im Vorfeld von den Probanden beantworteten Fragebogens sollte sichergestellt werden, dass die Probanden den DSM-IV-Kriterien entsprechend aktuell und in der Vergangenheit an keiner psychiatrischen Erkrankung erkrankt sind bzw. waren und keine psychotropen Medikamente einnehmen.

So wurde in dieser Studie Datenmaterial von 59 gesunden Probanden verwendet, von denen 30 männlichen, 29 weiblichen Geschlechts waren, die sich im Alter von 22 bis 56 Jahren (25.3 ± 5.8) befanden und von hohem Bildungsgrad (Abitur, Dauer der schulischen Ausbildung 12-14 Jahre) und hohem Intelligenzquotienten (123 ± 12.2 , nach MWT-B, Merz et al., 1975) waren. Vor oder im Anschluss an das Experiment unserer Studie wurde ein Experiment, zugehörig zu einer anderen Studie, durchgeführt. 26 Probanden begannen den Versuchsdurchlauf mit dem Experiment unserer Studie, 33 mit dem Experiment der anderen. Die Studie wurde vom Ethikkomitee der Universität Würzburg genehmigt. Alle Probanden haben nach vorhergehender Erklärung des Versuchsablaufs ihre Teilnahme am Experiment schriftlich bestätigt.

2.2 Paradigma zur Interferenz und Aufmerksamkeitskontrolle

Das Paradigma dieser Studie (siehe Abbildung 3) wurde in Anlehnung an die Paradigmen von Blasi und Kollegen (Blasi et al., 2005, 2007, 2010) gestaltet. Ein Stimulus besteht aus einem großen Pfeil, der entweder nach rechts oder links zeigt (Sehwinkel $14.1 \times 9.2^\circ$). Dieser große Pfeil besteht aus sechs mittelgroßen Pfeilen, die nach rechts oder links zeigen (Sehwinkel $3.3 \times 3.1^\circ$). Diese wiederum bestehen aus sieben kleinen Pfeilen, die nach rechts oder links zeigen (Sehwinkel $1.0 \times 0.8^\circ$) (Abbildung 3). Somit enthält unser Stimulusmaterial eine globale Aufmerksamkeitsebene mit einem großen Pfeil, eine mittlere Aufmerksamkeitsebene mit sechs mittelgroßen und eine lokale Aufmerksamkeitsebene mit insgesamt 42 kleinen Pfeilstrukturen. Durch die Variation der nach rechts oder links weisenden Pfeilstrukturen auf allen drei Ebenen besitzen unsere Stimuli ein unterschiedliches Niveau der Kongruenz. Alle Aufmerksamkeitsebenen können kongruent sein (Stimulus 1, 5 und 9; Abbildung 3), die große Aufmerksamkeitsebene kann inkongruent zur mittleren und kleinen Aufmerksamkeitsebene sein (Stimulus 4, 8 und 12; Abbildung 3), die große Aufmerksamkeitsebene kann inkongruent zur mittleren Aufmerksamkeitsebene, aber kongruent zur kleinen Aufmerksamkeitsebene sein (Stimulus 3, 7 und 11; Abbildung 3) oder die große Aufmerksamkeitsebene kann kongruent zur mittleren, aber inkongruent zur kleinen Aufmerksamkeitsebene sein (Stimulus 2, 6 und 10; Abbildung 3). Die Probanden wurden durch die auf dem Bildschirm präsentierten Instruktionen „GROSS“, „MITTEL“ oder „KLEIN“ dazu angeleitet, auf die globale, mittlere oder lokale Aufmerksamkeitsebene (siehe Abbildung 3) zu achten. Die Instruktionen „GROSS“, „MITTEL“ oder „KLEIN“ (800 ms) wurden den Probanden vor dem Erscheinen der Pfeilstimuli (1200 ms) präsentiert. Die Probanden sollten nun – je nachdem, ob der große, mittlere oder kleine Pfeilbildstimulus nach rechts oder links zeigt, den auf der Computertastatur nach rechts oder nach links weisenden Pfeil mit dem Zeigefinger drücken. Zwischen den Stimuli ruhte der Zeigefinger auf der Pfeil-nach-unten-Taste. Insgesamt wurden in Abhängigkeit vom Interferenz- und Aufmerksamkeitslevel zwölf Bedingungen untersucht. Insgesamt wurden 480 Pfeilbildstimuli präsentiert, wobei jeder der zwölf möglichen Pfeilbildstimuli (den gespiegelten Pfeil enthaltend) jeweils 40-mal präsentiert wurde. Die Messung dauerte ca. 16 Minuten. Die Präsentation der Stimuli wurde individuell randomisiert mit der Einschränkung, dass ein Stimulus nicht mehr als viermal hintereinander präsentiert wurde. Methodische Unterschiede zu der Arbeit

von Blasi und Kollegen bestanden in der gleichen Anzahl von Testungen für jede Bedingung, wahrscheinlich dem Gebrauch der spiegelbildlichen Stimuli (keine explizite Information hierzu in den Manuskripten), dem Interstimulusintervall (kürzer), der Messmethode (ERPs), der Anwendung von allen möglichen Kombinationen der verschiedenen Inkongruenzstufen und Aufmerksamkeitsebenen und der Präsentation der Instruktion vor der Präsentation des Stimulus.

Die Untersuchung fand in einem abgeschirmten, ruhigen Raum in gedämmter Lichtsituation statt. Die Probanden saßen auf einem Stuhl, ca. einen Meter vom Bildschirm entfernt. Bevor die eigentliche Untersuchung stattfand, wurden die Probanden instruiert und es wurde ihnen das Paradigma einige Male präsentiert, bis die Aufgabe verstanden wurde. Weiterhin sollten die Probanden möglichst entspannt sitzen und Körperbewegungen – soweit möglich – vermeiden.

2.3 EEG-Ableitung und -Vorverarbeitung

21 Elektroden wurden entsprechend dem internationalen 10/20-System (Klem et al., 1999) an den Positionen Fpz, Fp1, Fp2, Fz, F3, F4, F7, F8, Cz, C3, C4, T3, T4, Pz, P3, P4, T5, T6, Oz, O1 und O2 platziert. Die Referenzelektrode wurde zwischen der Fz und Cz-Elektrode platziert. Die Erdungselektrode saß zwischen Fpz und Fz. Drei zusätzliche Elektroden wurden neben dem linken und rechten Auge sowie unterhalb des rechten Auges platziert, um Augenbewegungen während der Versuchsdurchführung aufzuzeichnen. Das EEG-Signal wird mit einem 32-Kanal-Verstärker (Brain Amp MR, Brain Products GmbH, Germany) mit einer zeitlichen Auflösung von 1000 Hz aufgezeichnet. Für die Off-line-Analyse benutzten wir die Vision Analyser Software (Brain Products GmbH, Germany). Die Daten wurden off-line mit einem Hochpassfilter von 0.1 Hz und mit einem Tiefpassfilter von 50 Hz gefiltert und auf eine Durchschnittsreferenz rereferenziert. Die durch Augenbewegungen entstandenen Artefakte wurden mit Hilfe des im Vision Analyser enthaltenen Verfahrens der Augenartefaktkorrektur (Ocular Correction) nach Gratton und Coles (1989) korrigiert.

Wir bildeten Segmente von 850 ms für jeden Stimulus mit einer Baseline von 100 ms vor dem Erscheinen der Pfeilstruktur. Ausgeschlossen wurden Segmente, die Spannungen unter $-50\mu\text{V}$, über $50\mu\text{V}$ oder Spannungsunterschiede von über $50\mu\text{V}$ enthielten. Auch Fehlreaktionen wurden ausgeschlossen. Nach der Baseline-Korrektur ermittelten wir die durchschnittlichen Spannungsunterschiede der

verbleibenden Segmente. Gesonderte ERP-Analysen zeigten in Bezug auf die Instruktionsintervalle (800ms vor den Pfeilstimuli) keine Unterschiede zwischen den Bedingungen. Die Betrachtung des Gesamtmittels („Grand average“) (Abbildung 5) und der Topographien (Abbildung 6) der Signale aller Probanden und aller Bedingungen, summiert dargestellt, ließ vier Potentiale relevant erscheinen. Aufzuführen ist die P1, die ein Maximum bei 100 ms nach Reizpräsentation zeigte, v. a. über den posterioren Elektrodenpositionen stark ausgeprägt war und deren maximale Ausprägung über der Elektrodenposition T6 zu finden ist. Weiterhin zu nennen ist die P2 mit einem Maximum bei 200 ms nach Reizpräsentation über den fronto-zentralen Elektrodenpositionen und maximaler Ausprägung über der Elektrodenposition Cz. Die N2, bei der sich ein Peak bei 300 ms nach Reizpräsentation fand, trat nur über Cz auf und hatte einen positiven Absolutwert. Deshalb ist die Topographie der N2 in Abbildung 6 nicht dargestellt. Die P3 zeigte ihr Maximum zwischen 350 und 400 ms über C4. Um Lateralitätseffekte zu vermeiden, identifizierten wir die maximalen Peaks der Potentiale über den entsprechenden Elektrodenpositionen (P1 – T6, P2 – Cz, N2 – Cz, P3 – Cz) und exportierten Amplituden und Latenzzeiten. Für P3 wählten wir nicht C4, sondern Cz als die Elektrode mit dem ausgeprägtesten Maximum, da Cz die Elektrodenposition mit dem ausgeprägtesten Peak darstellte.

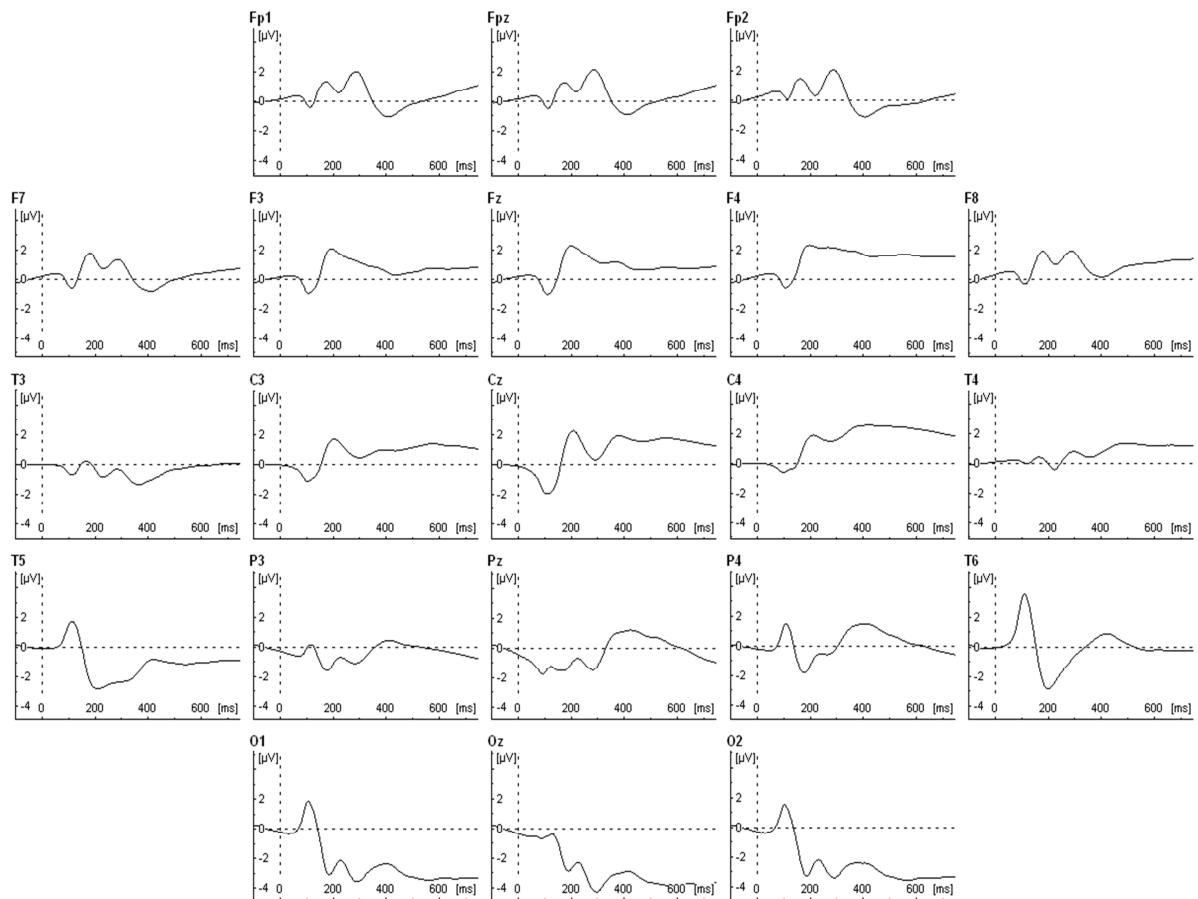


Abbildung 5: Gesamtmittel („Grand average“) aus allen Signalen und allen Bedingungen.

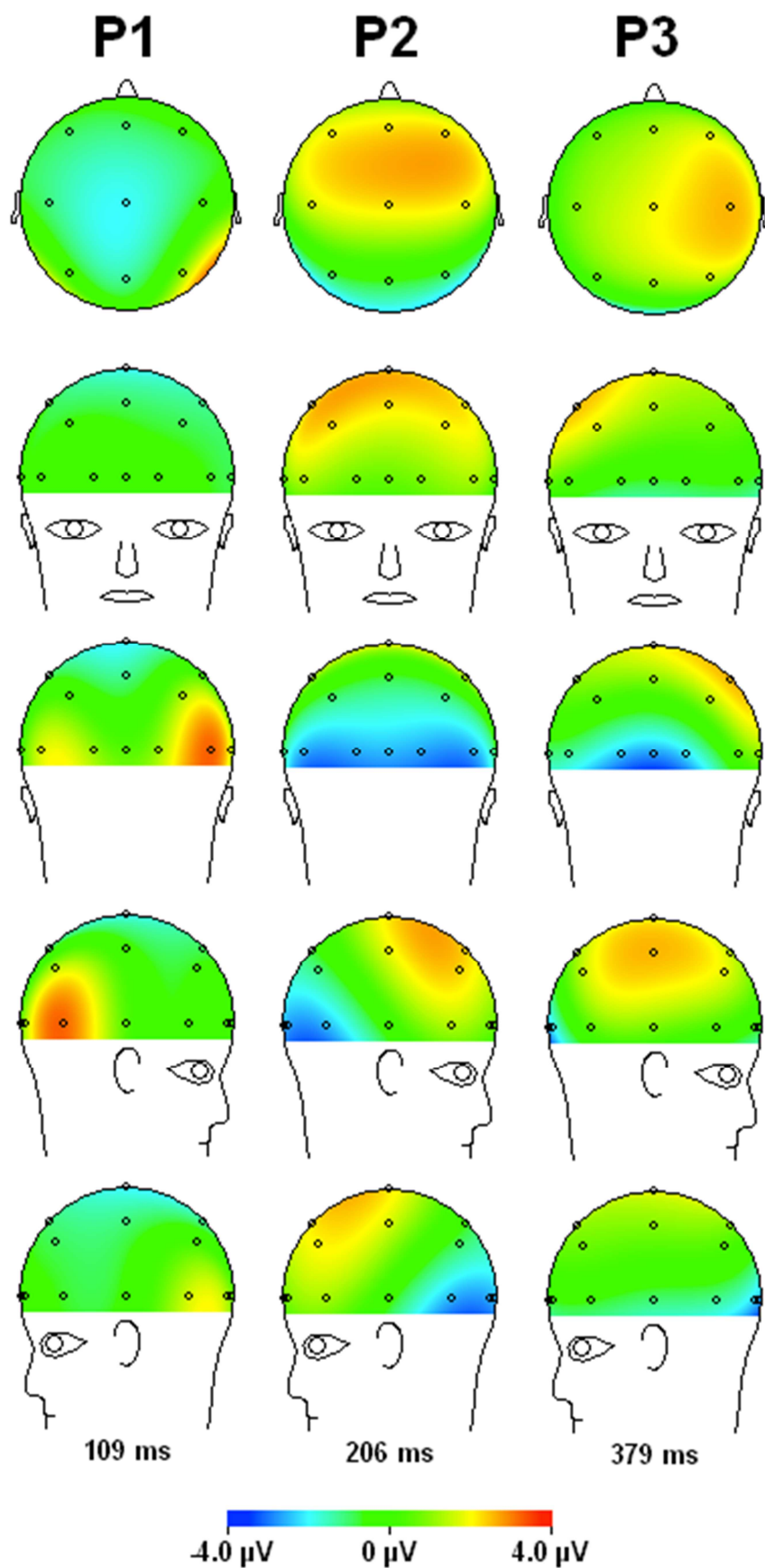


Abbildung 6: Topographien der ereigniskorrelierten Potentiale P1, P2 und P3

2.4 Datenanalyse

Als abhängige Verhaltensvariablen wurden die mittlere Anzahl korrekter Antworten und die durchschnittlichen Reaktionszeiten auf die korrekten Antworten für jede Bedingung in die statistische Auswertung miteinbezogen. Als abhängige elektrophysiologische Variablen verwendeten wir Peak-Amplituden und Latenzzeiten von P1 über T6, von P2 über Cz, von N2 über Cz und von P3 über C4. In einem ersten Schritt analysierten wir die Verhaltensdaten. Hierbei konzentrierten wir uns auf T-Tests zwischen den verschiedenen Interferenzniveaus innerhalb der drei Aufmerksamkeitsbereiche „groß“, „mittel“ und „klein“ bzw. globale, mittlere und lokale Ebene. Basierend auf diesen T-Tests eruierten wir die Rolle des Aufmerksamkeitsfokus (Details in den Ergebnissen). Hieraus konnten wir danach Varianzanalysen (ANOVAs) mit den unabhängigen Faktoren Inkongruenz und Aufmerksamkeitskontrolle ableiten (Details s.u.). Alle statistischen Analysen wurden mit dem Programm SPSS 18.0.0 (SPSS Inc., USA) vorgenommen. Im Falle einer Verletzung der Sphärizitätsannahme, angezeigt durch einen signifikanten Qui-Quadrat-Wert im Mauchly-Test ($p < 0.1$), wurden die Freiheitsgrade der F-Statistik entsprechend korrigiert. Dabei wurde bei einem Hunyh-Feldt Epsilon ≥ 0.75 die Hunyh-Feldt Korrektur, bei einem Hunyh-Feldt Epsilon < 0.75 die Greenhouse-Geisser Korrektur verwendet. Graphisch dargestellt wurden die Abbildungen mit der Vision Analyser Software und Photoshop (Adobe System Inc., USA).

Kontraste zwischen Stimuli innerhalb eines Aufmerksamkeitsbereichs sollten die Effekte der Interferenz darstellen. Hinsichtlich seines optischen Erscheinungsbildes unterscheidet sich jedoch das Stimulusmaterial: beispielsweise hat Stimulus 2 eine gegenüber Stimulus 3 unterschiedliche Gestalt. Aus diesem Grund bilden Kontraste der Stimuli 1vs. 2 vs. 3 vs. 4, 5 vs. 6 vs. 7 vs. 8 und 9 vs. 10 vs. 11 vs. 12 nicht nur Interferenz ab. Kontraste der gleichen Stimuli zwischen den verschiedenen Aufmerksamkeitssebenen sind ebenfalls nicht zulässig. Dies verhält sich so, da eine Fokussierung von verschiedenen Aufmerksamkeitssebenen aufgrund des Einflusses des Aufmerksamkeitsfokus und aufgrund der unterschiedlichen Anzahl an inkongruenten Ebenen bei optisch identischem Stimulus in unterschiedlichen Interferenzstufen resultiert. Demzufolge können wir auch mit diesen Kontrasten nicht die Effekte des Aufmerksamkeitsfokus und des Interferenzgrades untersuchen. Beispielsweise Stimulus 3 und 7 sind von der gleichen optischen Gestalt, die große und kleine Pfeilbildstruktur zeigt in die der mittleren Pfeilstruktur entgegengesetzte

Richtung. Bei Stimulus 3 wird der Proband instruiert, das große Pfeilbild zu betrachten. Dies resultiert darin, dass die mittlere Pfeilstruktur inkongruent und die kleine Pfeilstruktur kongruent zur großen Pfeilstruktur ist. Bei Stimulus 7 fokussiert der Proband den mittelgroßen Pfeil, wodurch der große und der kleine Pfeil zum mittleren Pfeil inkongruent sind. Bei Stimulus 3 und 11 ist die Anzahl der inkongruenten Ebenen die gleiche. Zusätzlich ist die Entfernung der fokussierten zur inkongruenten Ebene auch die gleiche. Nichtsdestotrotz kann der Interferenzgrad ein anderer sein, da es unklar ist, ob das Fokussieren der globalen Ebene vergleichbar ist mit dem der lokalen Ebene. Auch durch Kontraste der durchweg kongruenten Stimuli 1, 5 und 9 können keine validen Aussagen getroffen werden, da die Anzahl der kongruenten Ebenen insgesamt gleich, aber innerhalb des Aufmerksamkeitsfokus unterschiedlich ist. All diese beschriebenen Kontraste sind nicht ausreichend, um gültige Aussagen zur Interferenz und Aufmerksamkeitsebene zu treffen, da diese Faktoren miteinander interagieren. Deshalb sind Kontraste nötig, die für diese Interaktion kontrollieren können. Valide Kontraste schließen also Interferenz und Aufmerksamkeitsebene in einer Analyse mit ein, weil dadurch die Faktoren optisches Erscheinungsbild, Interferenzgrad und Aufmerksamkeitszuwendung gegenseitig kontrolliert werden können. Dies wurde mittels Varianzanalysen (ANOVAs) gestaltet. So wurden ANOVAs mit den Faktoren Interferenzgrad und Aufmerksamkeitszuwendung mit jeweils zwei Faktorstufen (geringer und hoher Konflikt; mehr lokale und mehr globale Ebene) gewählt. Sind Interferenz und Aufmerksamkeitsfokus unabhängig, sollten die ANOVAs nur Haupteffekte, aber keine Interaktionseffekte zeigen. Da es statistisch schwierig ist, die Nullhypothese (kein Interaktionseffekt) zu beweisen, berechneten wir auch ANOVAs, für welche wir Interaktionseffekte erwarteten, um eine quasi Cross-Validierung vorzunehmen (vgl. hierzu auch Kap. 1.3).

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Voranalyse der Verhaltensdaten

Blasi und Kollegen (Blasi et al., 2007) untersuchten in einem fMRT-Paradigma die Hirnaktivierung während einer Aufgabe zur Aufmerksamkeitskontrolle, in der den Probanden hierarchisch angeordnete Pfeilstimuli gezeigt wurden, deren Ebenen kongruent oder inkongruent sein konnten. Diese Aufgabe beinhaltet die kognitiven Prozesse Interferenzerkennung und Aufmerksamkeitszuwendung, die statistisch mit Kontrasten zwischen inkongruenten und kongruenten Stimuli (Konfliktdetektion) und zwischen Betrachtung der globalen, mittleren oder lokalen Ebene (Aufmerksamkeitszuwendung) berechnet wurden. Um in unserer Analyse die in Kapitel 2.1 beschriebene bei Blasi und Kollegen bestehende Problematik der Konfundation des optischen Eindrucks, des Lateralitätseffektes und der Vernachlässigung aller möglichen Stimuluskombinationen zu umgehen, ermittelten wir anfangs Stimuli, die sich für statistische Analysen eignen, welche potenziell Effekte im Bereich der Interferenz und Aufmerksamkeitskontrolle zeigen (siehe Kapitel 1.2., Abbildung 3). Hierzu nahmen eine Interferenzgradbestimmung mittels T-Tests innerhalb der drei Aufmerksamkeitsstufen (globale, mittlere, lokale Ebene) vor. Durch diese T-Tests wurde geprüft, ob sich die Stimuli, die sich innerhalb einer Aufmerksamkeitsebene („groß“, „mittel“, „klein“) befinden, signifikant in Reaktionsgeschwindigkeit und Anzahl korrekter Antworten unterscheiden. Erst aus den hieraus gewonnenen Verhaltensdaten konnten wir später die entsprechenden Tests schlussfolgern und zulässige ANOVAs ableiten. Die Analyse der Verhaltensdaten innerhalb der Instruktion „groß“, „mittel“ und „klein“ wurde mit den abhängigen Variablen „Fehlerrate“ und „Reaktionsgeschwindigkeit“ berechnet. Die Ergebnisse sind zusammenfassend in Abbildung 6 und 7 dargestellt.

Innerhalb der Instruktion „groß“ unterscheiden sich die Stimuli 1 bis 4 signifikant in ihren Fehlerraten und Reaktionszeiten.

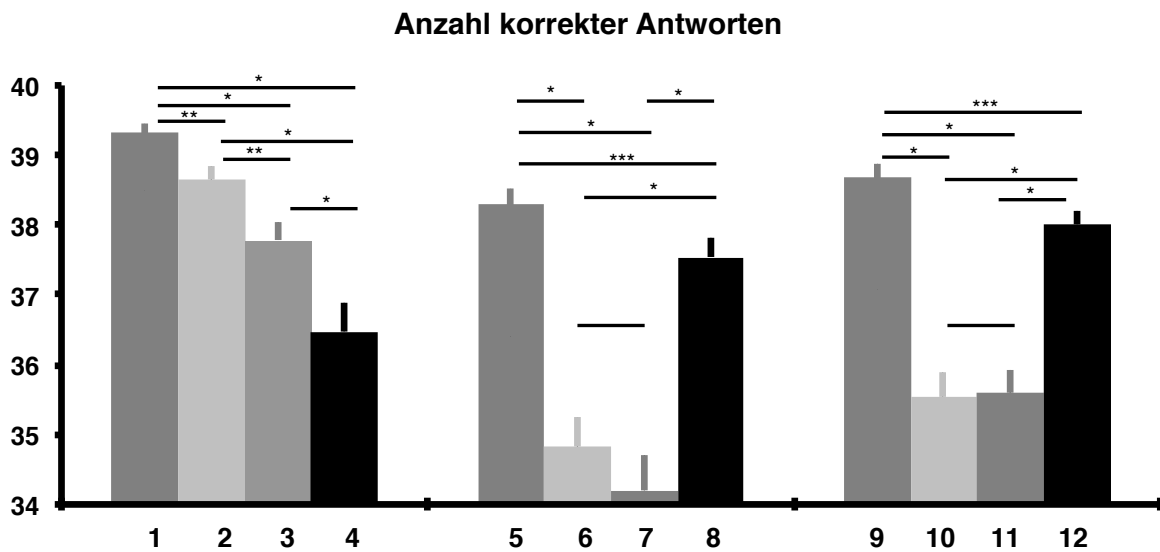


Abbildung 7: Anzahl korrekter Antworten bei den Stimuli 1 – 12. * markiert $p < 0.001$, ** markiert $p < 0.002$, *** markiert $p < 0.01$. Nicht mit * versehene querverlaufende Linien markieren ein nicht signifikantes Ergebnis ($p < 0.05$).

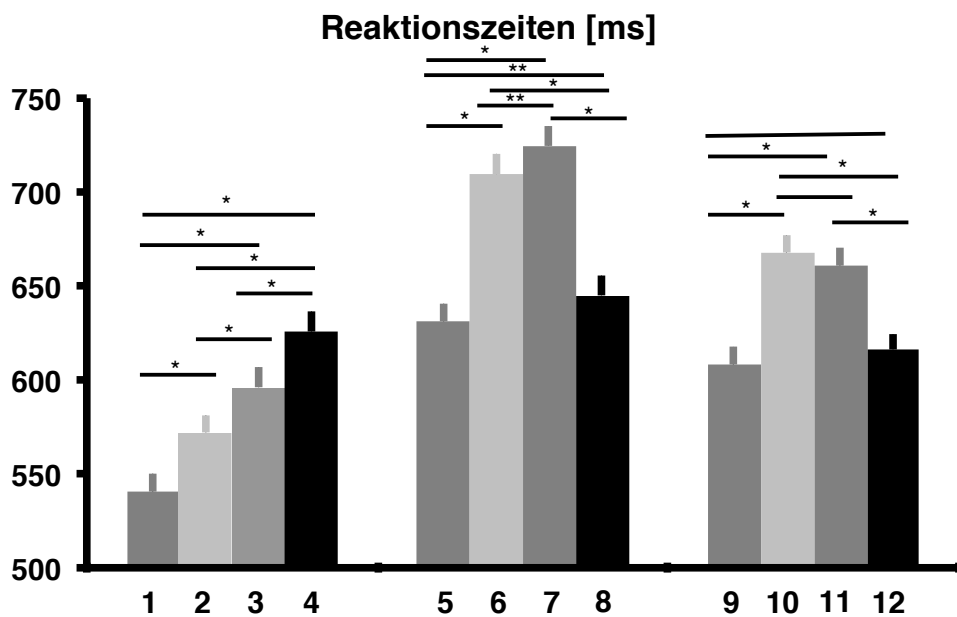


Abbildung 8: Reaktionsgeschwindigkeiten bei den Stimuli 1 – 12. * markiert $p < 0.001$, ** markiert $p < 0.005$. Nicht mit * versehene querverlaufende Linien markieren ein nicht signifikantes Ergebnis ($p < 0.05$).

Im Bereich der globalen Ebene fanden wir einen linearen Anstieg von korrekten Antworten und einen linearen Abfall an Reaktionszeit (Verlangsamung). Bei Stimulus 1 wurde am schnellsten und mit der niedrigsten Fehleranzahl reagiert. Bei den Stimuli 2, 3 und 4 wurden in aufsteigender Reihenfolge signifikant mehr Fehler gemacht und es wurde langsamer reagiert. Aus diesen Ergebnissen lassen sich die Interferenzgrade für die jeweiligen Stimuli ableiten. Wir sind der Meinung, dass sich die Ergebnisse anhand der „Spotlight-Theorie“ oder des „Zoom-lens-Modells“ (siehe oben) erklären lassen, nach denen unsere Aufmerksamkeit wie mit einem Spotlight um mehrere Sehwinkelgrade variiert werden kann. Die Aufmerksamkeit ist im Zentrum des Spotlights am stärksten konzentriert und nimmt in Richtung Peripherie ab. So hat ein im „Spotlight“ oder im Fokus gelegenes interferierendes Element einen größeren Einfluss auf die Geschwindigkeit und die Fehlerfreiheit als außerhalb des Fokus gelegene Objekte (LaBerge, 1983). Fokussiert man eine bestimmte Aufmerksamkeitsebene eines Stimulus, bzw. wird in diese wie mit einem Kamerobjektiv hineingezoomt, resultiert dies in einer hohen Auflösung der fokussierten Ebene und einer abnehmenden Auflösung der anderen, nicht fokussierten Ebenen. Da es ein Ziel dieser Studie ist, den Einfluss der Aufmerksamkeitsebene auf die Interferenz zu identifizieren, ist die relative Auflösung der nicht fokussierten Aufmerksamkeitsebene besonders wichtig.

Bei der Instruktion „groß“ befinden sich sowohl der große, als auch der mittlere und der kleine Pfeil im „Spotlight“, das heißt im Fokus der Aufmerksamkeit. Der niedrigste Interferenzgrad, hier definiert als Interferenzniveau 1, von Stimulus 1 lässt sich durch das Fehlen von widersprüchlichen Ebenen im Fokusbereich erklären. Stimulus 2 befindet sich auf Interferenzniveau 2, was sich durch das Vorhandensein einer widersprüchlichen Ebene im Bereich des kleinen Pfeilbildes, d. h. im Bereich geringer Auflösung, erklären lässt. Stimulus 3 befindet sich auf Interferenzniveau 3. Er besitzt eine inkongruente Ebene, die sich auf der mittleren Ebene befindet. So fällt die mittlere Pfeilstruktur bei der Fokussierung der großen Pfeilstruktur offenbar in einen Bereich höherer Auflösung, die kleine Pfeilstruktur in einen Bereich geringerer Auflösung. Damit wird erklärt, warum bei der Bearbeitung von Stimulus 3 mehr Fehler gemacht werden und langsamer reagiert wird als bei der Bearbeitung von Stimulus 2. Stimulus 4 ist aufgrund von zwei widersprüchlichen Ebenen der Stimulus mit der höchsten Interferenz innerhalb der Instruktion „groß“ und wird somit Interferenzniveau 4 zugeordnet.

Die Analyse der Verhaltensdaten bei der Instruktion „mittel“ ergab, dass bei der Bearbeitung von Stimulus 5 die wenigsten Fehler gemacht wurden und am schnellsten reagiert wurde; bei Stimulus 8 wurden moderat, jedoch signifikant mehr Fehler gemacht und es wurde langsamer reagiert. Stimulus 5 konnte so Interferenzniveau 1, Stimulus 8 Interferenzniveau 2 innerhalb der Instruktion „mittel“ zugeordnet werden. Bei Stimulus 8 liegt die der mittleren Pfeilstruktur widersprüchliche Ebene, d. h. die große Pfeilstruktur, nicht im Fokus. So kann man sich erklären, dass der Schwierigkeitszuwachs von Stimulus 5 zu Stimulus 8 gering ist und im Vergleich dazu der Schwierigkeitszuwachs von Stimulus 8 zu Stimulus 6 (Interferenzniveau 3) ein größerer ist, da bei Stimulus 6 das interferierende Pfeilmaterial (kleiner Pfeil) mit im Fokus der maximalen Aufmerksamkeit und damit im Bereich höherer Auflösung liegt. Bei der Bearbeitung von Stimulus 7 konnte ein moderater Anstieg der Fehlerhäufigkeit und Reaktionsgeschwindigkeit im Vergleich zur Bearbeitung von Stimulus 6 festgestellt werden. Bei Stimulus 7 zeigen sowohl die kleinen Pfeile als auch der große Pfeil in die dem mittleren Pfeil entgegengesetzte Richtung. Somit befindet sich interferierendes Pfeilmaterial sowohl im Zentrum des Spotlights im Bereich hoher Auflösung, als auch außerhalb des Zentrums des Spotlights im Bereich geringerer Auflösung. Durch die moderate, jedoch signifikante Zunahme der Reaktionsgeschwindigkeit von Stimulus 6 zu Stimulus 7 muss man annehmen, dass inkongruentes Pfeilmaterial, welches außerhalb oder in einem weniger scharfen Bereich des Zentrums der Aufmerksamkeit liegt, auch Auswirkungen auf die Schwierigkeit und damit die Reaktionszeiten und die Fehlerhäufigkeit hat.

Bei der Instruktion „klein“ zeigte Stimulus 9 die schnellsten Reaktionszeiten und die geringsten Fehlerraten, gefolgt von Stimulus 12, Stimulus 11 und 10 mit ansteigenden Reaktions- und Fehlerraten. Der starke Anstieg von Reaktions- und Fehlerraten von Stimulus 12 zu Stimulus 11 kann dadurch erklärt werden, dass bei Stimulus 12 der inkongruente Pfeil (große Pfeilstruktur) außerhalb des Fokusbereichs liegt und im Gegensatz dazu bei Stimulus 11 die inkongruente mittlere Pfeilstruktur zwar nicht im Zentrum des Fokus, jedoch im Bereich höherer Auflösung liegt. Aufgrund dieser Ergebnisse war es uns möglich, verschiedene Interferenzgrade innerhalb der drei Aufmerksamkeitsebenen festzulegen. In unserem Experiment wird die Interferenz der Stimuli durch Inkongruenz bzw. das Fehlen von Inkongruenz in vier Abstufungen eingeteilt: Kongruente Stimuli entsprechen Interferenzstufe 1

(Stimulus 1, 5 und 9), Stimuli mit einer inkongruenten Pfeilstruktur im Bereich geringerer Auflösung Interferenzniveau 2 (Stimulus 2, 8 und 12), Stimuli mit einer inkongruenten Pfeilstruktur im Bereich höherer Auflösung Interferenzniveau 3 (Stimulus 3, 6 und 11), Stimuli mit einer inkongruenten Pfeilstruktur im Bereich geringerer Auflösung und zusätzlich mit einer inkongruenten Pfeilstruktur im Bereich höherer Auflösung Interferenzniveau 4 (Stimulus 4, 7 und 10). Die statistischen Werte zu den Verhaltensdaten finden sich im Anhang in Tabelle 1.

Die Ergebnisse, die aus den Verhaltensdaten hervorgingen und mit denen wir die vier verschiedenen Interferenzgrade festlegten, sind Grundvoraussetzung, um bestimmte Kontraste rechnen zu können, die es möglich machen, zum einen die Auswirkung des Interferenzniveaus auf Verhaltens- und elektrophysiologische Daten unabhängig vom Stimulus und der Instruktion an sich und zum anderen die Auswirkung der fokussierten Aufmerksamkeitsebene unabhängig vom Interferenzgrad und dem Stimulus an sich abzubilden. Statistisch wurde dies mit zweifaktoriellen Varianzanalysen mit den Innersubjektfaktoren „Aufmerksamkeit“ und „Interferenz“ vorgenommen. Einzelkontraste zwischen zwei Stimuli, welche sich innerhalb einer Aufmerksamkeitsebene befinden, sind nicht ausreichend, um die Effekte des Interferenzniveaus auf Verhaltens- und elektrophysiologische Daten zu interpretieren. Dies verhält sich so, da wir die Ergebnisse nicht nur auf der Basis eines unterschiedlichen Interferenzniveaus interpretieren dürfen, sondern auch in unsere Überlegungen mit einbeziehen müssen, dass Reaktionszeitveränderungen etc. sich auch aufgrund der optischen Unterschiede der Stimuli ergeben haben können, wie es z. B. bei den Kontrasten der Stimuli 1 vs. 2 vs. 3 vs. 4, 5 vs. 6 vs. 7 vs. 8 und 9 vs. 10 vs. 11 vs. 12 der Fall ist. Ähnlich verhält es sich mit Einzelkontrasten zwischen Stimuli unterschiedlicher Aufmerksamkeitsebenen. Einzelkontraste zwischen zwei optisch identischen Stimuli, welche sich auf verschiedenen Aufmerksamkeitsebenen befinden, sind ebenfalls nicht ausreichend, um die Effekte der fokussierten Aufmerksamkeitsebene auf Verhaltens- und elektrophysiologische Daten zu messen, da sich mit der Fokussierung verschiedener Aufmerksamkeitsebenen auch unterschiedliche Interferenzgrade bei optisch identischem Stimulusmaterial ergeben. Beispielsweise Stimulus 3 und 7 sind optisch identisch, die Richtung des großen Pfeiles und der kleinen Pfeile sind der Richtung der mittleren Pfeile entgegengesetzt angeordnet. Bei Stimulus 3 wird die globale Ebene fokussiert, dementsprechend ist die mittlere Ebene inkongruent, die kleine

Ebene kongruent und so ergibt sich eine inkongruente Ebene bei Stimulus 3. Bei Stimulus 7 wird die mittlere Ebene fokussiert, folglich sind zwei Ebenen (kleine und große Ebene) inkongruent. Betrachtet man Stimulus 3 und 11, ist die Anzahl der inkongruenten Ebenen die gleiche. Zudem ist auch die Nähe der fokussierten Ebene zur inkongruenten Ebene identisch. Dennoch kann die Interferenz von Stimulus 3 und 11 unterschiedlich sein, da es unklar ist, ob die Fokussierung der globalen Ebene vergleichbar ist mit der Fokussierung der lokalen Ebene.

Unserer Meinung nach sind somit einfache Kontraste zwischen zwei Stimuli nicht verwertbar, um Aussagen über den Einfluss von Interferenz und Aufmerksamkeitsfokus auf Verhaltens- und elektrophysiologische Daten zu machen. Valide Kontraste ergeben sich, wenn eine Analyse die Faktoren „Interferenz“ und „Aufmerksamkeitsebene“ enthält und bzgl. der Gestalt des Stimulus und der Aufmerksamkeitsebene ausbalanciert ist. Genau dies wäre der Fall, wenn ANOVAs Haupteffekte bzgl. Interferenz und Aufmerksamkeitsebene zeigen und keine Interaktionseffekte zwischen beiden Faktoren zeigen. Mit den aus T-Tests gewonnenen Verhaltensdaten leiteten wir uns die ANOVAs ab, bei denen wir signifikante Haupteffekte erwarteten. Da es statistisch schwierig ist, die Nullhypothese (kein Interaktionseffekt) zu beweisen, leiteten wir uns auch ANOVAs aus den Verhaltensdaten ab, für die wir einen Interaktionseffekt erwarteten.

Wir erwarteten signifikante Haupteffekte im Bereich „Interferenz“ und „Aufmerksamkeit“. ANOVA 1 beinhaltet den Innersubjektfaktor „Aufmerksamkeit“, dessen global gerichtete Aufmerksamkeit durch Stimulus 2 und 4 präsentiert wird, und gegen die lokal gerichtete Aufmerksamkeit, die durch den Stimulus 12 und 10 präsentiert wird, getestet wird. Beim zweiten Innersubjektfaktor der ANOVA1, der „Interferenz“, wird Interferenzniveau 2 durch Stimulus 2 und 12 abgebildet, Interferenzniveau 3 durch Stimulus 4 und 10. Zu erwähnen ist, dass wir keinen Interaktionseffekt zwischen Aufmerksamkeitsebene und Interferenzniveau erwarten, da Stimulus 2 (Aufmerksamkeitsebene „groß“, Interferenzniveau 2) identisch mit Stimulus 10 (Aufmerksamkeitsebene „klein“, Interferenzniveau 4) und Stimulus 4 (Aufmerksamkeitsebene „groß“, Interferenzniveau 4) identisch mit Stimulus 12 (Aufmerksamkeitsebene „klein“, Interferenzniveau 2) ist. ANOVA 2 beinhaltet den Faktor „Aufmerksamkeit“ (Stimulus 6 und 7 (globale Ebene) vs. Stimulus 11 und 10 (lokale Ebene)) und den Faktor „Interferenz“ (Stimulus 6 und 11 (Interferenzniveau 3) vs. Stimulus 7 und 10 (Interferenzniveau 4)). ANOVA 3 (Aufmerksamkeitsebene:

Stimulus 2 und 3 vs. 7 und 6; Interferenz: Stimulus 2 und 7 versus Stimulus 3 und 6) und ANOVA 4 (Aufmerksamkeitsebene: Stimulus 3 und 4 versus 8 und 7; Interferenz: Stimulus 3 und 8 versus 4 und 7) sollten Interaktionseffekte zwischen Aufmerksamkeit und Interferenz demonstrieren, da pro ANOVA Stimuli mit insgesamt drei verschiedenen Interferenzgraden vorhanden sind.

3.2 Verhaltensdaten

Bei ANOVA 1 (Stimuli 2, 12, 10 und 4) zeigte sich ein Haupteffekt Interferenz sowie ein Haupteffekt Aufmerksamkeit (Abbildung 9). Der Interaktionseffekt war nicht signifikant.

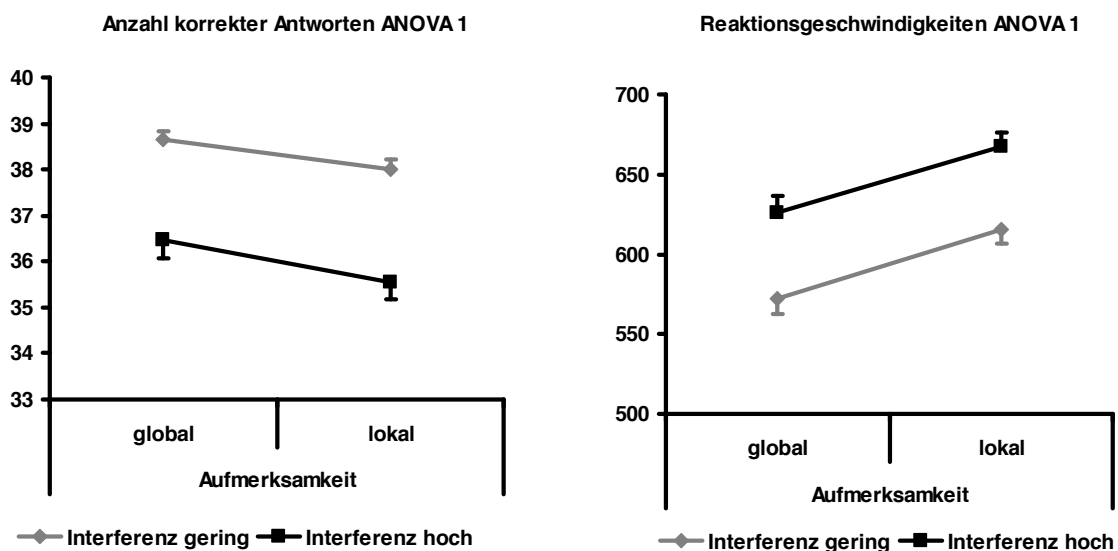


Abbildung 9: Anzahl korrekter Antworten und Reaktionsgeschwindigkeiten bei ANOVA 1

Der Haupteffekt „Interferenz“ zeigt sich in signifikant kürzeren Reaktionszeiten und weniger Fehlern von Interferenzniveau 2 (geringe Interferenz), auf dem sich Stimulus 2 und 12 befinden, als von Interferenzniveau 4 (hohe Interferenz), auf dem sich Stimulus 4 und 10 befinden. Stimulus 2 und Stimulus 12 besitzen je eine der instruierten Aufmerksamkeitsebene entgegengesetzte Pfeilstruktur, die sich zwei Ebenen von der instruierten entfernt und nicht im Zentrum der „Zoom lens“ befindet. Stimulus 4 und 10 enthalten je zwei inkongruente Ebenen, die sich sowohl im Zentrum der „Zoom lens“ befinden, als auch an das Zentrum angrenzen. So konnte gezeigt werden, dass Probanden Stimuli geringerer Interferenz – und dabei unabhängig von optischem Eindruck und der Aufmerksamkeitsebene – schneller und

mit weniger Fehlern bearbeiten können. Der zweite Haupteffekt „Aufmerksamkeit“ zeigt, dass Zielstimuli, die sich auf der Aufmerksamkeitsebene „groß“ befinden, schneller und mit einer geringeren Fehlerquote bearbeitet werden können als Zielstimuli der Aufmerksamkeitsebene „klein“. Dieser Befund passt zu dem Modell der globalen Präferenz (Navon, 1977). Er geht davon aus, dass der Aufmerksamkeitsfokus eine Präferenz für globale Reize hat und danach erst lokale Reize verarbeitet werden. Es konnte allerdings gezeigt werden, dass die globale Präferenz von der Größe bzw. dem Sehwinkel der gezeigten Stimuli abhängt (Johnson et al., 2005). So wurde auch schon Überlegenheit der lokalen Ebene beschrieben. Wie aus Arbeiten zu zwei-dimensionalen hierarchischen Stimuli abzuleiten ist, würden die hier gewählten Sehwinkel eine Überlegenheit der lokalen Ebene erwarten lassen, was nicht der Fall war. Unsere Daten zeigen, dass für den Kontrast „GROSS“ vs. „KLEIN“ die globale Ebene schneller verarbeitet wurde. Für drei-dimensionale Stimuli scheinen andere Sehwinkel-Grade eine lokale oder globale Präferenz zu bedingen als für zwei-dimensionale Stimuli. Eine andere mögliche Erklärung der Befunde wäre die Randständigkeit der globalen Ebene. Obwohl der globale Stimulus sehr groß ist, ist er leichter/schneller zu erkennen als die lokale Ebene. Es muss erst einer der 42 lokalen Pfeile detektiert werden.

Testet man wie bei ANOVA 2 Stimulus 6 und 11 gegen Stimulus 7 und 10, bzw. 6 und 7 gegen 11 und 10, zeigte die statistische Auswertung einen signifikanten Haupteffekt des Faktors Interferenz und des Faktors Aufmerksamkeit. Die Interaktion Aufmerksamkeit x Interferenz wurde nicht signifikant. Das bedeutet zum einen, dass sich die Reaktionszeiten und Fehlerhäufigkeiten unabhängig von der Aufmerksamkeitsebene und unabhängig vom visuellen Eindruck bei verschiedenen Interferenzstufen unterscheiden. Interferenzniveau 3 (Stimulus 6 und 11, geringe Interferenz) unseres Stimulusmaterials kann also schneller und mit einer geringeren Fehlerquote bearbeitet werden als Interferenzniveau 4 (Stimulus Nr. 10 und Nr.7, höhere Interferenz). Bei Interferenzniveau 3 liegt die inkongruente Ebene näher am Fokus der Aufmerksamkeit als die kongruente. Bei Interferenzniveau 4 existieren zwei inkongruente Ebenen. Zum anderen zeigte sich durch den signifikanten Haupteffekt „Aufmerksamkeit“, dass sich die Aufmerksamkeitsebene „mittel“ oder „klein“ signifikant auf die Verhaltensdaten auswirkt, d. h. die kleine Aufmerksamkeitsebene (Stimulus 10 und 11) konnte mit kürzeren Reaktionszeiten und geringeren Fehlerraten bearbeitet werden als die mittlere

Aufmerksamkeitsebene (Stimulus 6 und 7). Der Haupteffekt Aufmerksamkeit lässt wieder weniger durch die gewählten Sehwinkel-Grade als mehr durch die Randständigkeit der Ebenen erklären. Die lokale Ebene ist randständiger und deshalb schneller und mit weniger Fehlern zu detektieren.

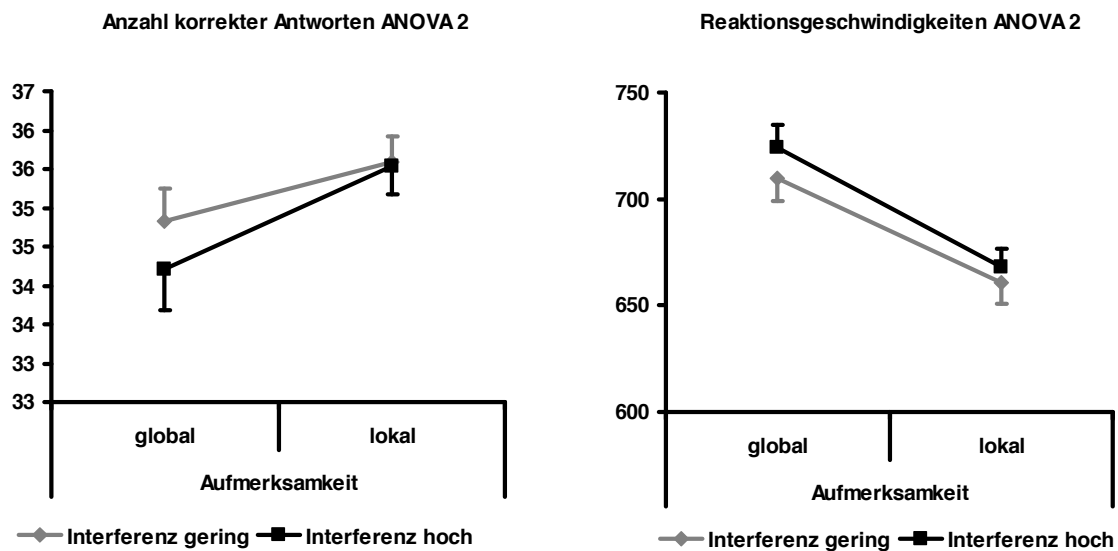


Abbildung 10: Anzahl korrekter Antworten und Reaktionsgeschwindigkeiten bei ANOVA 2

Bei ANOVA 3 wurden Stimulus 2 und 3 gegen Stimulus 6 und 7, bzw. Stimulus 3 und 6 gegen Stimulus 2 und 7 getestet. Stimulus 6 und 3 befinden sich auf dem gleichen Interferenzniveau, die Interferenzniveaus von Stimulus 2 und 7 entsprechen einander nicht. So erwarteten wir einen Interaktionseffekt, den wir auch fanden. Bei der Instruktion „groß“ wurden weniger Fehler gemacht und schneller reagiert als bei der Instruktion „mittel“. Zudem wurde durch den Interaktionseffekt gezeigt, dass der Anstieg der Fehlerquote und der Reaktionszeiten bei Instruktion „mittel“ von geringerem zu größerem Interferenzniveau deutlich stärker ausgeprägt ist als bei Instruktion „groß“. Neben den Interaktionseffekten zeigten sich auch signifikante Aufmerksamkeits-Haupteffekte mit mehr Fehlern und längeren Reaktionszeiten für die mittlere Ebene. Das passt wieder zu dem Modell der Randständigkeit.

Für ANOVA 4 (Stimulus 3 und 4 versus Stimulus 7 und 8) erwarteten wir wie auch bei ANOVA 3 einen Interaktionseffekt. Dies verhält sich so, da Stimulus 4 und 7 sich in ihrer Interferenz entsprechen, Stimulus 3 und 8 jedoch auf verschiedenen Interferenzniveaus liegen. Die Reaktionszeiten der Stimuli 3 und 4 (globale Ebene) waren signifikant schneller, die Fehlerquoten signifikant geringer als die der Stimuli 7 und 8 (mittlere bzw. lokale Ebene). Entscheidend bei ANOVA 4 war jedoch der von

uns erwartete Interaktionseffekt. Bei Fokussierung der globalen Ebene trat bei Stimuli mit niedrigem Interferenzgrad im Vergleich zu Stimuli mit hohem Interferenzgrad ein signifikant steilerer Anstieg der Fehlerquote und der Reaktionszeiten auf als bei der lokalen Ebene. Neben den Interaktionseffekten zeigten sich auch signifikante Haupteffekte Aufmerksamkeit und Interferenz mit mehr Fehlern und längeren Reaktionszeiten für die mittlere Ebene im Vergleich zur globalen Ebene und für die hohe im Vergleich zur geringeren Interferenz. Das passt zu unseren Annahmen der Vermittlung von Interferenz über die Zoom-Lens und zu dem Modell der Randständigkeit. Insgesamt zeigen diese Befunde, dass unsere Hypothesen richtig waren. Eine Zusammenfassung der Interferenzgrade findet sich in Abb. 11.

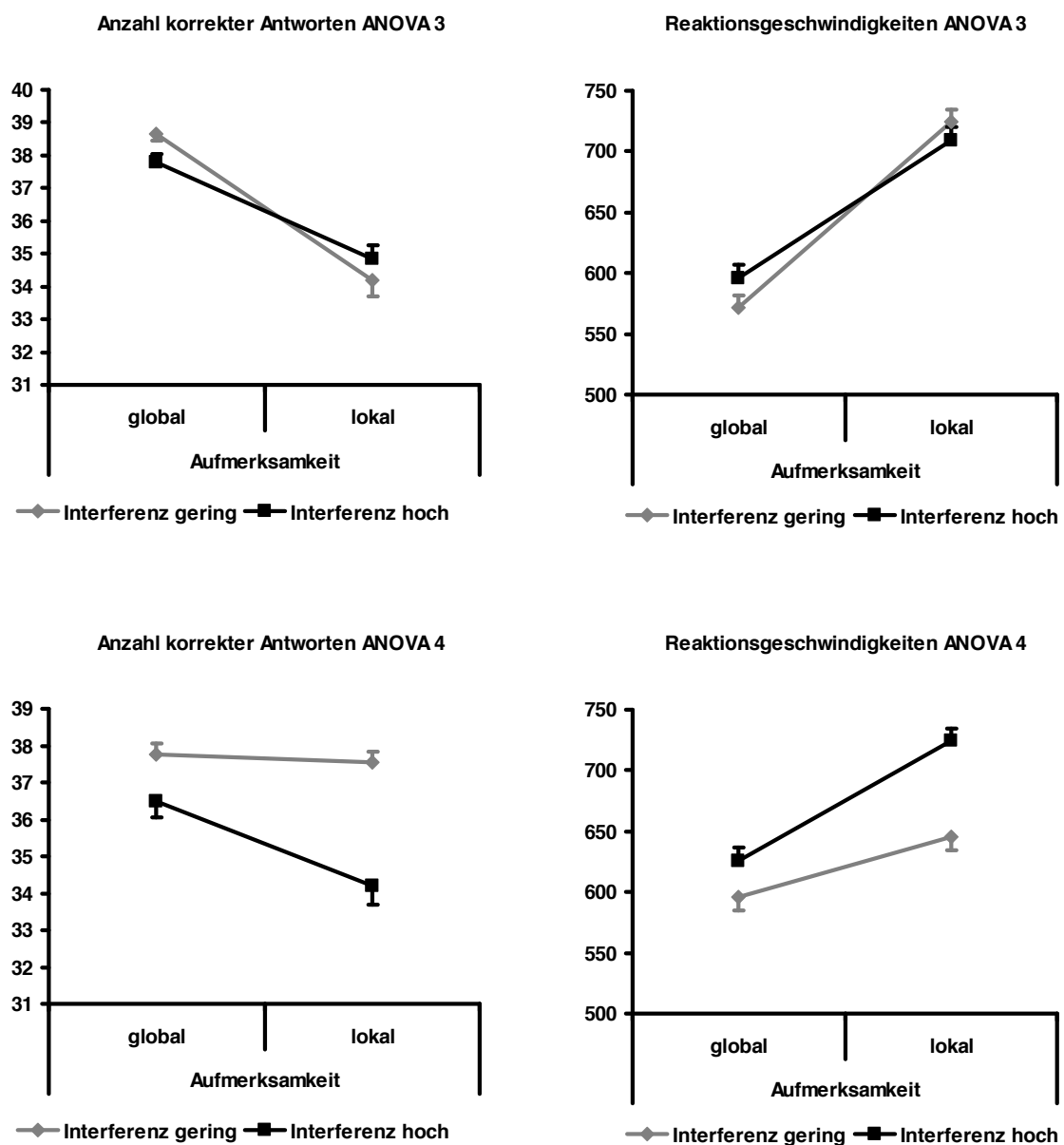


Abbildung 11: Anzahl korrekter Antworten bei ANOVA 3 und ANOVA 4

3.3 Elektrophysiologische Daten

Als nächsten Schritt galt es, signifikante Haupteffekte im Bereich der ereigniskorrelierten Potentiale zu ermitteln. Signifikante Haupteffekte „Aufmerksamkeit“ und „Interferenz“ konnten bei allen ANOVAs gefunden werden, signifikante Interaktionseffekte nur bei ANOVA 3 und 4.

3.3.1 P1

Die P1 zeigte signifikante Haupteffekte im Bereich „Aufmerksamkeit“ für die Amplituden von ANOVA 2, 3 und 4. Signifikanzen konnten bei ANOVA 1 weder im Bereich der Amplituden, noch im Bereich der Latenzen gefunden werden. Bei ANOVA 2 zeigten die Amplituden signifikant höhere Ausschläge bei der Instruktion „mittel“ (Stimulus 6 und 7) als bei der Instruktion „klein“ (Stimulus 11 und 10) (Abbildung 16). Höhere Amplituden deuten auf stärkere Depolarisation der Zellkörper im Bereich der untersuchten Hirnrinde hin. So nehmen wir an, dass die Bearbeitung der Stimuli der mittleren Instruktion durch die stärkere Depolarisation der neuronalen Zellkörper schwieriger ist als die Bearbeitung der Stimuli der Instruktion „klein“. Da die Amplitudenhöhe von der durch eine Aufgabe geforderten Aufmerksamkeit abhängt (Hillyard et al., 1998), muss man annehmen, dass zur Bearbeitung der Aufgabe bei der Instruktion „mittel“ mehr Aufmerksamkeit nötig ist als zur Bearbeitung der Aufgabe bei der Instruktion „klein“. Auch die Verhaltensdaten, bei welchen es zu einer höheren Fehlerrate und langsameren Reaktionszeiten bei mittlerer Aufmerksamkeitsebene kam, weisen auf einen erhöhten Schwierigkeitsgrad der Instruktion „mittel“ hin. Lange Zeit war die Wissenschaft der Meinung, dass die Latenzzeit und die Amplitudenhöhe der P1 lediglich sensitiv bezüglich einer Manipulation dreidimensionaler Stimuli sei (Hof und Mangun, 2000; Martinez et al., 2001). Neuere Studien konnten jedoch auch Latenzzeit- und Amplitudenveränderungen der P1, basierend auf simplerem Stimulusmaterial zeigen (Han et al., 2000; Mouchetant-Rostaing et al., 2000). Beispielsweise Han beschrieb 2000 erhöhte P1-Amplituden bei lokaler im Vergleich zu globaler Aufmerksamkeitsebene (Han et al., 2000). Auch Taylor konnte 2002 einen direkten Zusammenhang zwischen Amplitudenhöhe und Grad der Aufmerksamkeitszuwendung durch die Probanden zeigen (Taylor, 2002). Weiterhin ist bekannt, dass die Amplitudenhöhe der P1 abhängig von der Raumrichtung ist, in der sich das Stimulusmaterial befindet (Luck, 2005). Auch der Wachheitsgrad des

Probanden scheint einen direkten Zusammenhang mit der Amplitudenhöhe der P1 zu haben (Luck, 2005). Die größeren Amplituden und die schlechteren Verhaltensdaten bei den Stimuli mit dem Fokus auf die mittlere im Vergleich zu den Stimuli mit Fokus auf die globale Ebene (ANOVA 3 und 4) passen zu den oben angeführten Erklärungen.

Signifikante Latenzzeitveränderungen konnten wir bei keiner ANOVA der P1 feststellen. Dies mag daran liegen, dass Latenzzeitveränderungen der P1 v. a. von anderen Variablen abhängig sind, als wir sie in dieser Studie vorfinden. Latenzzeitveränderungen der P1 sind von dem Kontrast eines Stimulus, d. h. dem Unterschied zwischen hellen und dunklen Bereichen eines Stimulus abhängig (Luck, 2005). Da hier die Pfeilanordnung unseres Stimulus variiert wird, nicht aber der Kontrast, sind auch keine Latenzzeitveränderungen bei der P1 zu erwarten. Auch eine Latenzzeitveränderung durch farbiges Stimulusmaterial im Vergleich zu schwarz-weißem Stimulusmaterial, wie es Taylor 2002 beschrieb, können wir im Rahmen unserer Untersuchungen nicht finden. Insgesamt konnte in nur einer Studie eine Latenzzeitveränderung der posterioren P1-Komponente bei lokaler im Vergleich zu globaler Aufmerksamkeitsebene gefunden werden (Han et al., 2000).

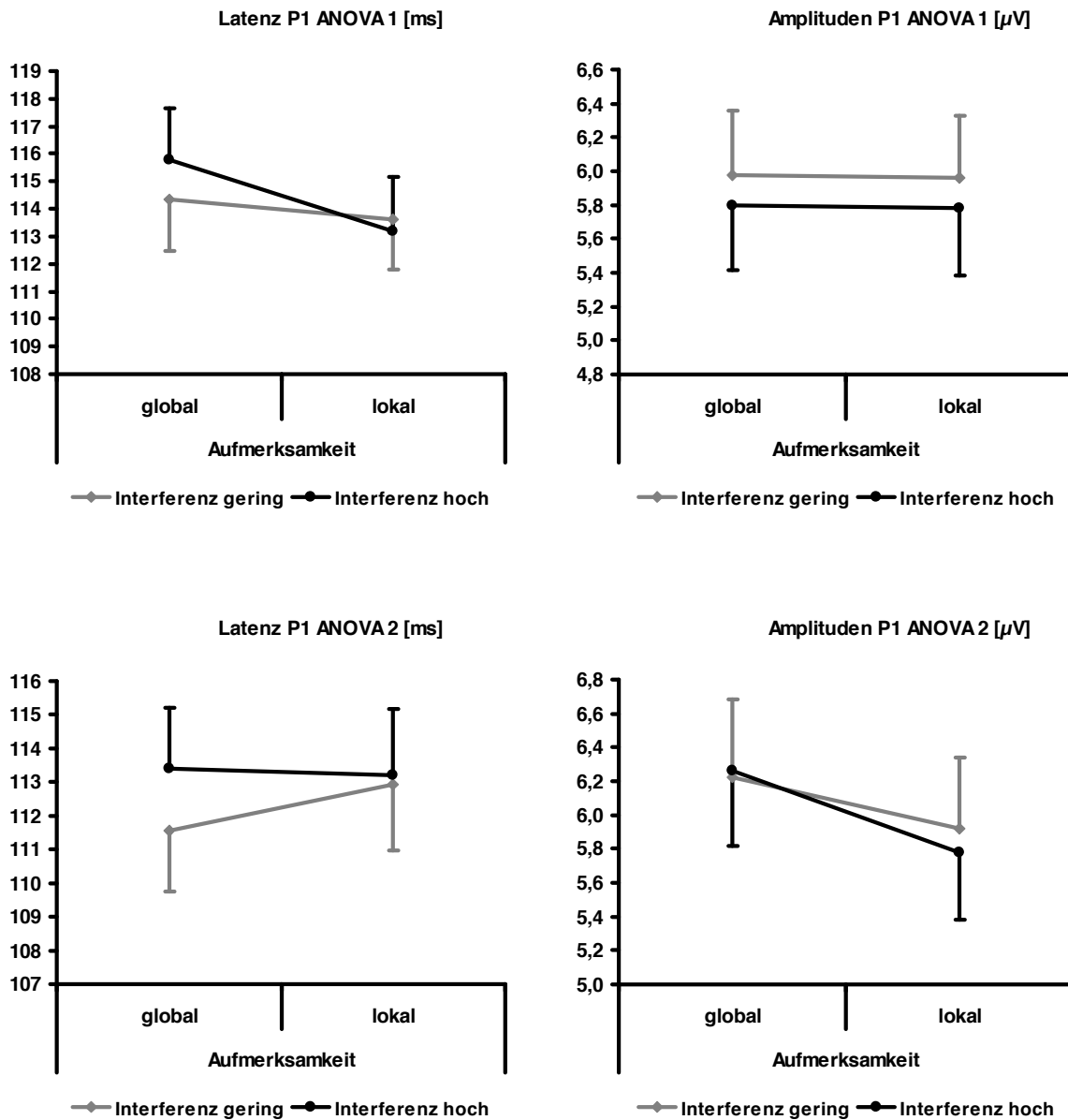


Abbildung 12: Latenzzeiten und Amplituden P1, ANOVA 1 und 2

Bei ANOVA 3 und 4 zeigten sich keine signifikanten Interaktionseffekte.

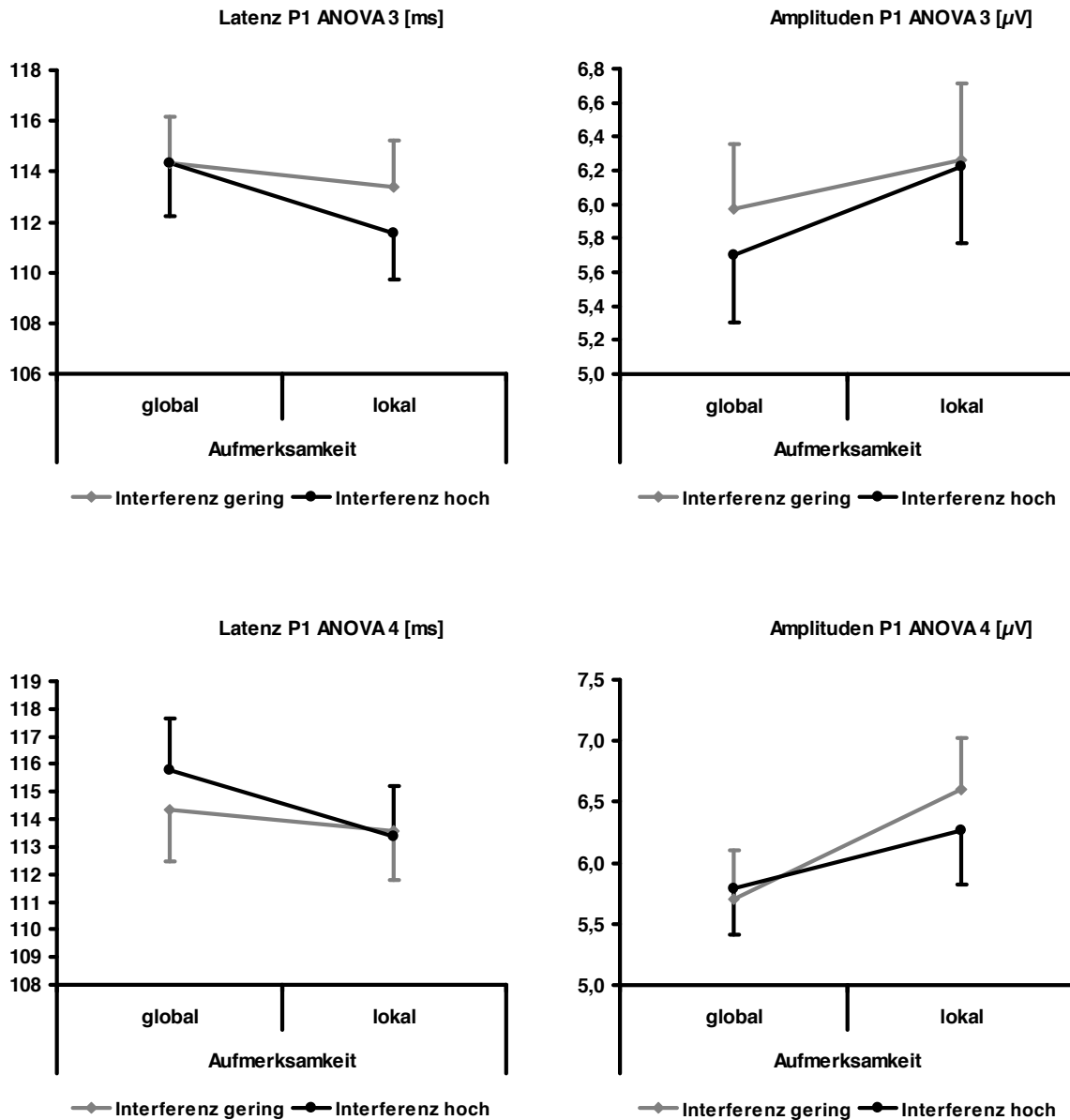


Abbildung 13: Latenzzeiten und Amplituden P1, ANOVA 3 und 4

3.3.2 P2

Die P2 zeigte signifikante Haupteffekte im Bereich „Aufmerksamkeit“ für die Amplituden von ANOVA 1, 3 und 4 und signifikante Haupteffekte im Bereich „Interferenz“ für die Latenzzeiten von ANOVA 2. Bei ANOVA 1, 3 und 4 waren die Amplituden bei globaler Instruktion signifikant größer als bei lokaler bzw. mittlerer Instruktion.

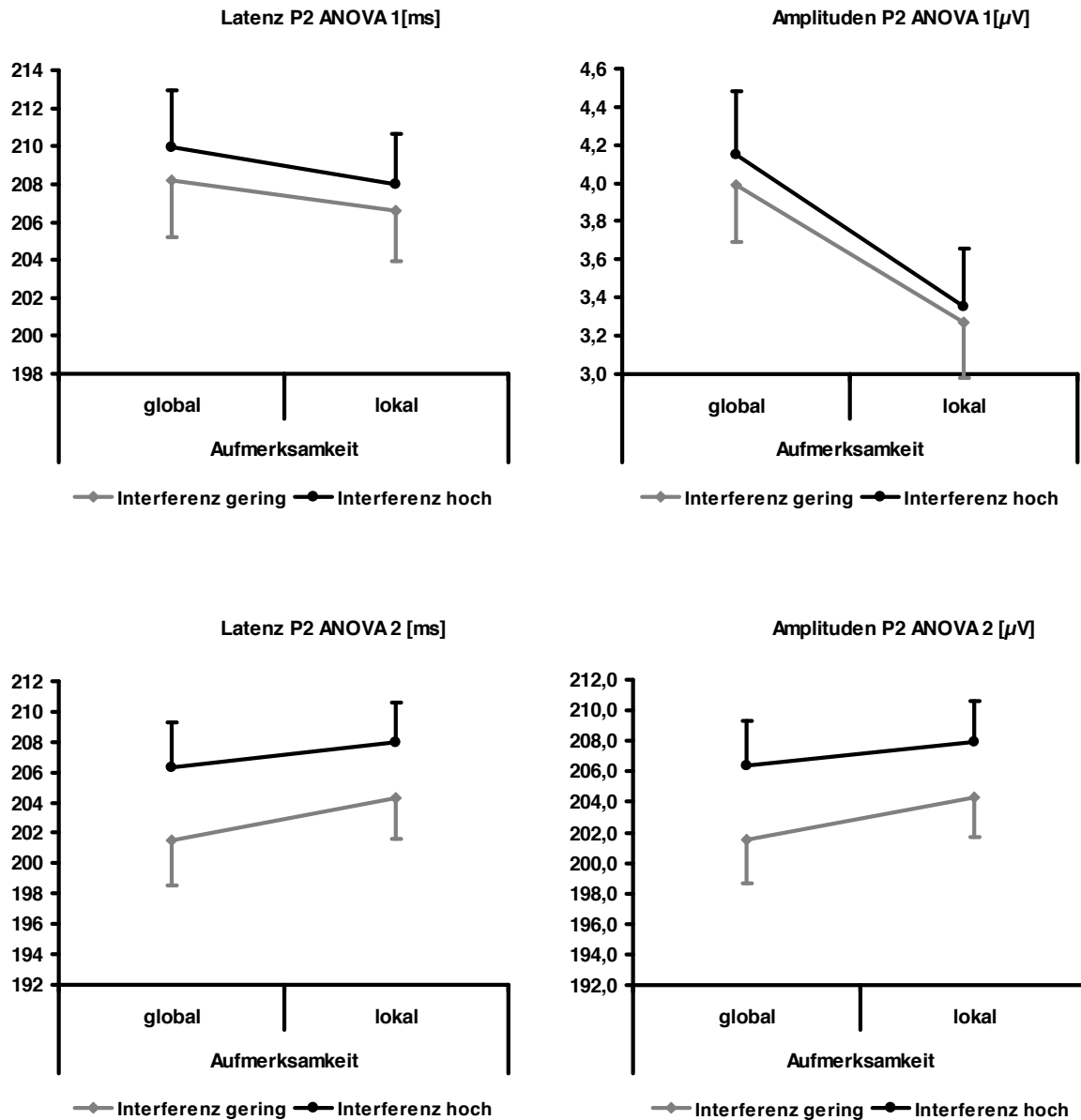


Abbildung 14: Latenzen und Amplituden P2, ANOVA 1 und 2

Da bei einer Zunahme der von der Aufgabe geforderten Aufmerksamkeit auch die Amplitudenhöhe ansteigt (Hillyard et al., 1998), könnte man auch in diesem Fall annehmen, dass bei der Instruktion „groß“ mehr Aufmerksamkeit nötig ist als bei der Instruktion „klein“. Aber steht die Amplitudenhöhe hier wirklich in direkter Abhängigkeit zur Aufmerksamkeit? Bei der Instruktion „klein“ werden mehr Fehler gemacht und es wird langsamer reagiert als bei der Instruktion „groß“. Urteilt man also nach den Verhaltensdaten, scheint die Bestimmung der Pfeilrichtung den Probanden bei kleiner Instruktion schwerer zu fallen als bei großer Instruktion. Eigentlich würde man bei einer schwierigen Aufgabe erwarten, dass die Aufmerksamkeit und damit auch die Amplitude der P2 steigen. Aber natürlich ist eine

Amplitudenveränderung eines ereigniskorrelierten Potentials, in diesem Fall der P2, nicht nur von der einem Stimulus zugewandten Aufmerksamkeit abhängig, sondern auch von anderen Faktoren. Die Abhängigkeit der Amplitude der P2 ist nach dem heutigen Stand der Wissenschaft noch nicht sicher geklärt. Es konnten aber einige Abhängigkeiten festgestellt werden. Es ist z. B. auch möglich, dass die Größe des visuellen Aufmerksamkeitsfeldes, welches bei globaler Aufmerksamkeitsebene größer ist als bei lokaler Aufmerksamkeitsebene, in Zusammenhang mit der Amplitudenhöhe steht. Es ist vorstellbar, dass ein großer visueller Aufmerksamkeitsbereich, welchen wir bei der Instruktion „groß“ vorfinden, mehr Aufmerksamkeit fordert und damit zu höheren Amplituden führt als ein kleiner visueller Aufmerksamkeitsbereich. So zeigten auch Omoto et al. (2010), dass dreidimensionale Stimuli zu größeren Amplituden führen als zweidimensionale Stimuli. Im Bereich der Latenz konnten bei ANOVA 1 keine Signifikanzen gefunden werden.

Ein signifikanter Interferenzeffekt wurde durch die Latenzzeitbestimmung bei ANOVA 2 gefunden. Die Latenzzeiten von Stimulusmaterial der Interferenzstufe 4 (Stimulus 7 und 10) waren signifikant länger als die Latenzzeiten von Stimulusmaterial der Interferenzstufe 3 (Stimulus 6 und 11). Offenbar werden, was die P2 betrifft, höhere Interferenzstufen später verarbeitet als geringere Interferenzstufen (Abbildung 23). Bei den Amplituden konnten keine signifikanten Unterschiede bei ANOVA 2 gefunden werden (Abbildung 24).

Bei ANOVA 3 und 4 zeigten sich jeweils keine signifikanten Interaktionseffekte.

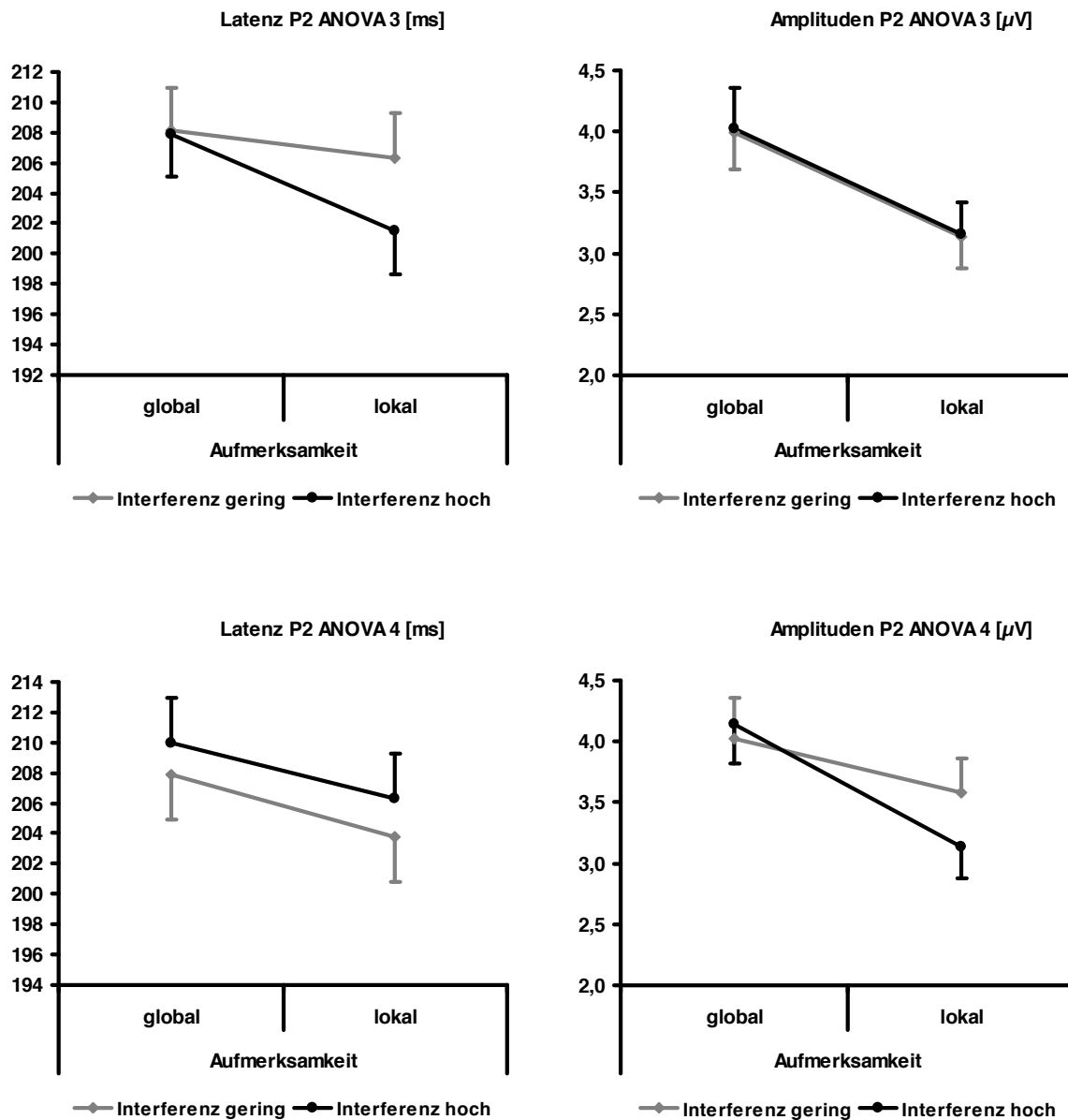


Abbildung 15: Latenzen und Amplituden P2, ANOVA 3 und 4

3.3.3 N2

Die N2 zeigte signifikante Haupteffekte im Bereich Aufmerksamkeit für die ANOVA 1 (Latenz und Amplitude), 3 (Amplitude) und 4 (Amplitude) und im Bereich Interferenz für ANOVA 1 (Latenzzeit), 2 (Amplitude) und 4 (Latenz). Bei ANOVA 3 ergab sich für die Amplitude ein signifikanter Interaktionseffekt. Globale Aufmerksamkeitszuwendung war im Kontrast zu mittlerer oder lokaler Aufmerksamkeitszuwendung mit kleineren Amplituden und langsameren Latenzzeiten verbunden. Zur Erinnerung: Die Verhaltensdaten zeigten eine bessere Leistung für die globale Ebene. Höhere Interferenzgrade waren mit längeren Latenzzeiten und kleineren Amplituden verbunden.

Um die Haupteffekte der N2 analysieren zu können, muss man wissen, dass die N2 aus drei verschiedenen Komponenten aufgebaut ist, der N2a (auch mismatch negativity genannt), N2b und N2c. Sie tritt v. a. dann auf, wenn innerhalb eines Stimulusintervalls ein Stimulus präsentiert wird, der nicht dem in der Aufgabenstellung gefragten Zielstimulus entspricht (Luck, 2005). Die N2 spiegelt daher eine Verschieden- oder Ungleichheit zwischen dem abweichenden Stimulus und dem Zielstimulus der Aufgabe wieder. Das Auftreten der N2a ist auf auditive Aufgabenstellungen begrenzt. Das Auftreten der N2b hingegen ist nicht auf auditive Aufgabenstellungen beschränkt. Sie tritt v. a. bei Abweichungen des Standardstimulus vom eigentlich erwarteten Stimulus und bei Antwortkonflikten auf (Patel et al., 2005). Im Hinblick auf unser Paradigma ist wohl die N2c die wichtigste N2-Komponente. Diese tritt bei visueller Aufmerksamkeitszuwendung auf und steht für das Maß der Aufmerksamkeit, die notwendig ist, um einen Stimulus im visuellen Kortex verarbeiten zu können (Schmitt et al., 2000). Das heißt, wir würden v.a. Interferenzeffekte erwarten und weniger Aufmerksamkeitseffekte.

Abbildung 16 verdeutlicht allerdings, dass bei lokaler Aufmerksamkeitsebene (Instruktion „klein“) die Amplituden der N2 in negativere Bereiche fallen - größere Amplituden haben - als bei globaler Aufmerksamkeitsebene (Instruktion „groß“). Auch bei ANOVA 3 und 4 zeigten sich signifikant höhere Amplituden-Peaks der N2 bei der Instruktion „mittel“ im Vergleich zur Instruktion „groß“. Auch in anderen Studien konnte gezeigt werden, dass die Amplituden-Peaks der N2 bei lokalem im Vergleich zu globalem Aufmerksamkeitsbereich erhöht waren (Han et al., 1999; Han et al., 2000). Zudem treffen Patel et al. (2005) die Aussage, dass die N2b direkt mit der Unterscheidungsschwierigkeit eines Probanden zusammenhängt, den dargestellten Stimulus als den Zielstimulus zu identifizieren. Eine Unterscheidungsschwierigkeit konnten wir allerdings statistisch durch Ausbalancieren der Interferenz kontrollieren.

Andere wissenschaftliche Arbeitsgruppen (Han und Humphreys, 1999; Han et al., 1999) betrachten die Erhöhung der N2-Amplitude bei lokaler im Vergleich zu globaler Aufmerksamkeitsebene als einen Hinweis auf ein zusätzliches „Filtersystem“, welches benötigt wird, um aus den vielen lokalen Elementen bei lokaler Instruktion nur ein Element „herauszufiltern“, es zu betrachten und dann beispielsweise zu entscheiden: zeigt der Pfeil nach links oder rechts? Daher erfordere die Identifikation von lokalen Objekten eine Selektion von einem lokalen Element aus vielen lokalen Elementen, welche simultan im visuellen Feld präsentiert

werden. Da es bei globaler Instruktion nur einen Zielstimulus gibt, sei bei der Instruktion „groß“ kein Filtersystem von Nöten. Hierauf könne man die niedrigere N2-Amplitude bei globaler Instruktion zurückführen, so Han et al. (2000).

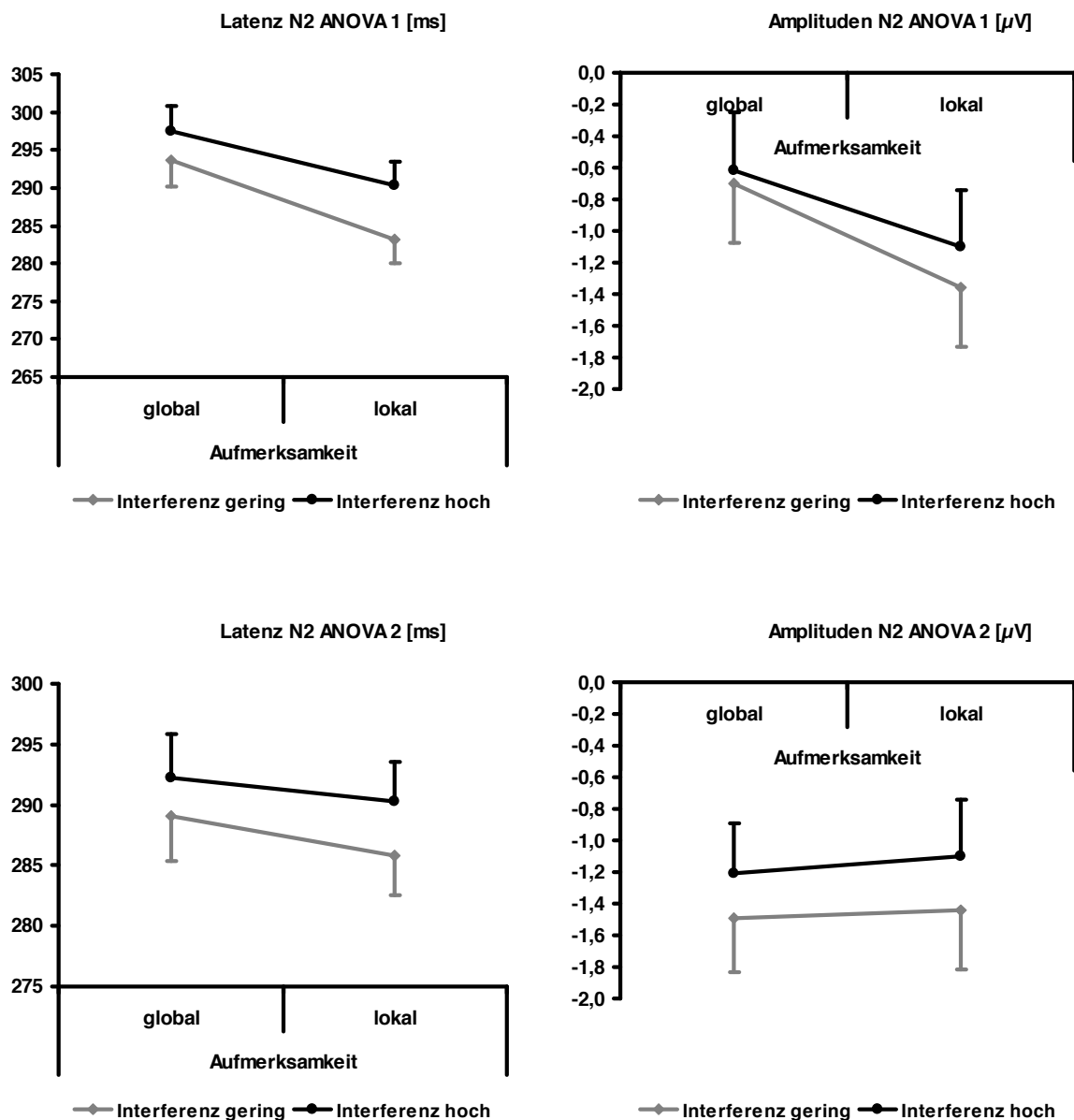


Abbildung 16: Latenzen und Amplituden N2, ANOVA 1 und 2

Die Latenzzeit der N2 war bei ANOVA 1 bei global gerichteter Aufmerksamkeit signifikant länger als bei lokal gerichteter Aufmerksamkeit. Folglich kann man schlussfolgern, dass bei der Instruktion „klein“ ein früherer Verarbeitungsprozess stattfindet als bei der Instruktion „groß“. Dies erscheint unseren Überlegungen bezüglich der Amplitudenveränderungen widersprüchlich, denn wir erwarteten ähnliche Ergebnisse wie Han et al. (1997), die längere Latenzzeiten bei lokaler als bei globaler Instruktion nachweisen konnten. Warum aber wird im Rahmen unserer

Studie das Stimulusmaterial der Instruktion „klein“, welches im Vergleich zur Instruktion „groß“ unter gesteigerter neuronaler Aktivität verarbeitet wird, früher verarbeitet? Dieses Phänomen wurde in ähnlicher Weise in anderen Arbeiten zu Interferenz und mehrdimensionalen Stimulusmaterial beschrieben. Heinze und Münte (1993) beschrieben eine Erhöhung der okzipitalen N2-Komponente und ein früheres Erscheinen, d. h. eine kürzere Latenzzeit, bei lokaler im Vergleich zu globaler Aufmerksamkeitsebene. Dies konnte von Heinze und Münte (1993) allerdings nur festgestellt werden, wenn die Verhaltensdaten einen lokalen Vorteil, d. h. schnellere Reaktionszeiten und eine geringere Fehleranzahl bei lokaler Aufmerksamkeitsebene zeigten, was unsere Verhaltensdaten nicht belegen konnten. Ganz im Gegenteil: die Instruktion „groß“ kann im Vergleich zur Instruktion „klein“ bei ANOVA 1 schneller und mit weniger Fehlern bearbeitet werden.

Betrachten wir die Literatur zur N2 bei hierarchischen Stimuli abschließend, sieht man, dass Aufmerksamkeitseffekte immer mit Interferenzphänomenen erklärt werden. Wie die Verhaltensdaten zeigen, konnten wir allerdings durch unser Design Interferenz- klar von Aufmerksamkeitseffekten trennen. Betrachtet man die Amplitudenabnahme und die Latenzzunahme für globale Stimuli gemeinsam (ANOVA 1), kann man annehmen, dass hier eine Art Kompensation stattfindet. Eine geringere neuronale Anstrengung wird durch eine langsamere Verarbeitung kompensiert.

Bei allen ANOVAs trat ein signifikanter Interferenzeffekt auf. Bei Bearbeitung des hohen Interferenzniveaus traten bei ANOVA 1 und 4 deutlich höhere Latenzzeiten auf als bei Bearbeitung des geringeren Interferenzniveaus. Dies bedeutet wiederum, dass die N2 bei geringerem Interferenzniveau früher nachzuweisen ist und damit bei ANOVA 1 geringere Interferenzen, vermutlich aufgrund des geringeren Schwierigkeitsgrades, zumindest was die N2 betrifft, schneller verarbeitet werden. Zudem kam es bei höherem Interferenzgrad bei ANOVA 2 zu höheren Amplitudenpeaks als bei niedrigem Interferenzgrad. Auch Han et al. (2001) konnte bei höherem Interferenzgrad erhöhte Amplituden und längere Latenzzeiten im Bereich der N2 bestätigen. Bei ANOVA 3 zeigten sich signifikant geringere Latenzzeiten bei hoher im Vergleich zu mittlerer Interferenz (Abbildung 17). Das widerspricht unseren Erwartungen, da eine höhere Interferenz als schwieriger anzusehen ist. Betrachten wir das geringe Signifikanzniveau ($p=0.027$) und die mangelnde Übereinstimmung zu den Interferenzeffekten der ANOVAs 1 und 2 ist ein

statistischer Zufallsbefund naheliegend. Zieht man den tendenziell signifikanten Effekt der Amplitude in Betracht (höhere Amplituden für höhere Interferenz), könnte auch von einer Kompensation schnellerer Latenzzeiten durch intensivere Verarbeitung ausgehen.

Bei ANOVA 3 und 4 zeigten sich Interaktionseffekte. Wie in Abbildung 17 (ANOVA 3) zu sehen ist, ist die Amplitude der N2 bei globaler Aufmerksamkeitsebene bei niedrigem Interferenzniveau (Interferenzniveau 2) in den negativen Bereich hinein stärker ausgeprägt als bei höherem Interferenzniveau. Bei lokaler (mittlerer) Aufmerksamkeitsebene hingegen ist die Amplitude der N2 bei höherem Interferenzniveau signifikant negativer ausgeprägt als bei geringerem Interferenzniveau. Dieser Interaktionseffekt ist von uns erwartet, da sich Stimulus 2 und 4 auf zwei verschiedenen Interferenzniveaus befinden. Ein Interferenzeffekt entstand bei ANOVA 4 durch signifikant höhere Latenzzeiten im hohen Interferenzbereich (Interferenzniveau 4) im Vergleich zu niedrigem Interferenzbereich (Interferenzniveau 2 und 3). Wie auch schon die Latenzzeiten der N2 bei den anderen ANOVAs darlegten, wird auch hier niedrige Interferenz früher verarbeitet als hohe Interferenz.

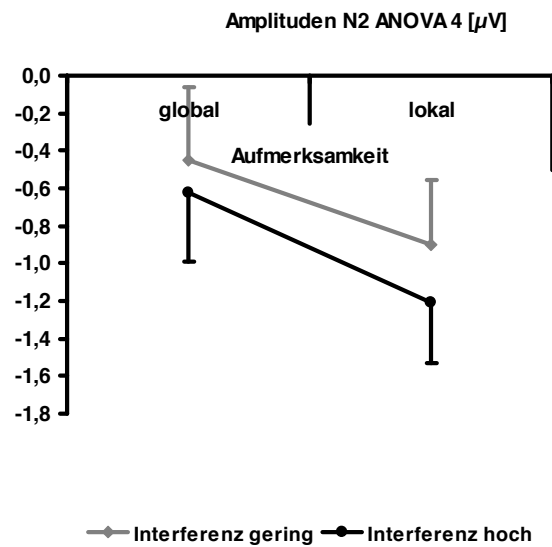
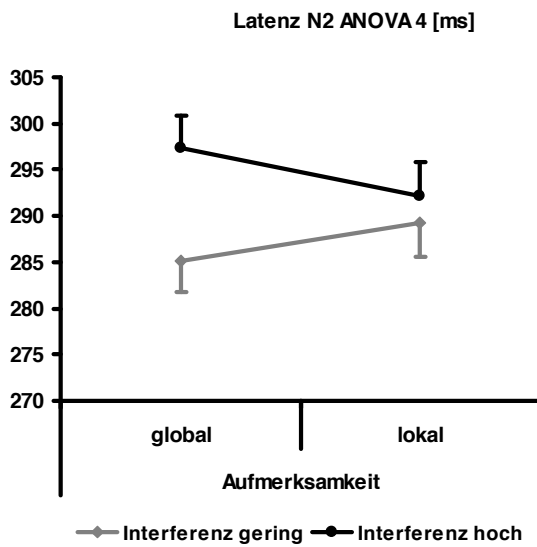
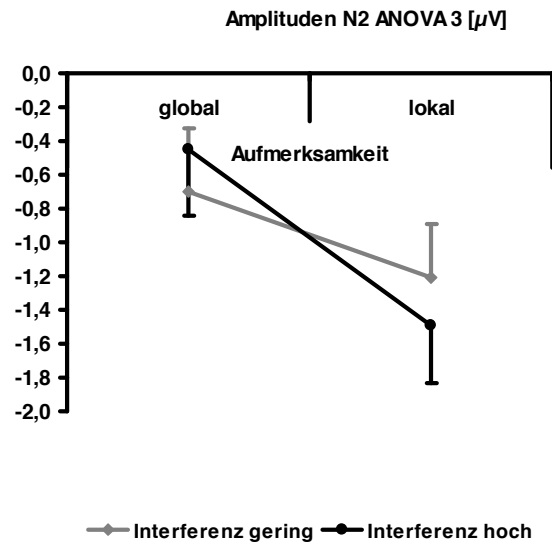
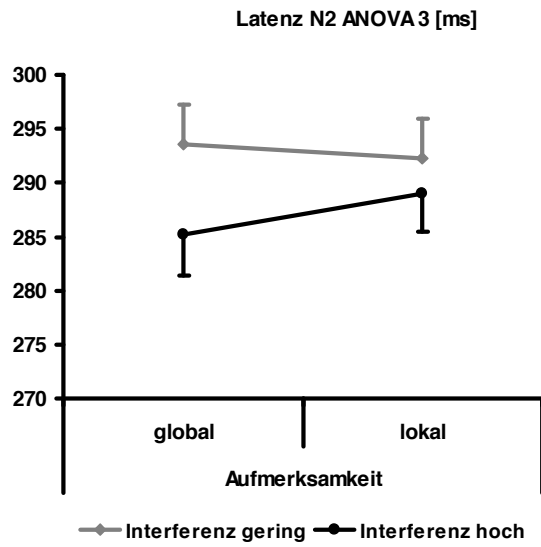


Abbildung 17: Latenzen und Amplituden N2, ANOVA 3 und 4

3.3.4 P3

Die P3 zeigte signifikante Haupteffekte im Bereich „Aufmerksamkeit“ für die Amplituden von ANOVA 1, 3 und 4 und im Bereich „Interferenz“ für die Latenzzeit und die Amplituden von ANOVA 1 und 3. Die Aufmerksamkeit auf die globale Ebene war von größeren Amplituden begleitet; ein geringer Interferenzgrad war begleitet von einer langsamerer Latenzzeit und größeren Amplituden. Latenzzeiten von ANOVA 3 und 4 zeigten signifikante Interaktionseffekte.

Die Latenzzeit der P3 korreliert mit der Verarbeitungszeit, die zur Evaluation eines Stimulus oder Reizes erforderlich ist (Kutas et al., 1977; McCarthy und Donchin, 1981). Betrachtet man Abbildung 18, sieht man, dass bei hohem Interferenzniveau (Interferenzniveau 4) signifikant geringere Latenzzeiten auftraten als bei niedrigem Interferenzniveau (Interferenzniveau 2). Dies bedeutet wiederum, dass Stimulusmaterial mit hoher Interferenz offenbar früher verarbeitet wird als Stimulusmaterial mit niedrigerer Interferenz. Dieses Phänomen ist schwierig zu erklären, zumal in anderen Studien zu zweidimensionalem Stimulusmaterial andere Ergebnisse festzustellen waren: Han konnte zeigen, dass es bei hohem Interferenzniveau zu längeren P3-Latenzzeiten kam (Han et al., 2000).

Zudem zeigt Abbildung 18, dass es bei ANOVA 1 bei niedrigeren Interferenzen zu größeren Amplitudenpeaks kommt als bei höheren Interferenzen, was ebenfalls nicht zu erwarten war, da man annimmt, dass die Amplitude der P3 umso höher ist je mehr Anstrengung der Proband aufwenden muss (Luck, 2005). Warum treten also bei niedrigeren Interferenzen, die nach den Verhaltensdaten einfacher zu bearbeiten sind, höhere Amplituden auf? Die einfachste Erklärung scheint wiederum ein Kompensationsmechanismus zu sein. Stimuli mit geringerem Interferenzgrad werden langsamer, dafür mit größerer neuronaler Intensität verarbeitet. ANOVA 3 zeigte die gleichen Effekte bezüglich der Interferenz wie ANOVA 1.

Nimmt man als Prämisse die Korrelation der Reaktionszeit kognitiver Aufgaben mit der P3-Latenzzeit, ist es schwierig zu erklären, dass bei der Instruktion „groß“ höhere Amplituden auftreten als bei der Instruktion „klein“. Allerdings passt das zu Befunden hierarchischer Stimuli. Kotchouby et al. (1997) konnten wie auch wir in unserer Studie größere Amplituden bei großer als bei kleiner Aufmerksamkeitsebene nachweisen. Auch bei Proverbio et al. (1998) war die zentro-parietale P3-Komponente größer für Globalität als für Lokalität.

Es wurde in anderen Studien gezeigt, dass Modalität und Qualität der auslösenden Reize für die Amplitudenhöhe der P3 relativ unbedeutend sind, denn zu den Faktoren, die die Amplitudenhöhe der P3 modifizieren, scheinen vielmehr die Aufgabenrelevanz (direkter Zusammenhang mit der Amplitudenhöhe) und Auftretenswahrscheinlichkeit (inverser Zusammenhang) eines Reizes sowie die Sequenz des präsentierten Stimulus (inverser Zusammenhang) zu gehören (Duncan-Johnson und Donchin, 1977; Pfefferbaum und Ford, 1988; Sutton et al., 1965; Patel und Azzam, 2005; Ortega et al., 2008). Vielleicht entspricht die Amplitude der P3 wie die Amplitude der P2 aber der Größe der zu verarbeitenden Information bzw. der Größe des Aufmerksamkeitsscheinwerfers.

Bei ANOVA 2 ergaben sich weder, was die Interferenz betrifft, noch was die Aufmerksamkeit betrifft, signifikante Ergebnisse (Abbildung 19).

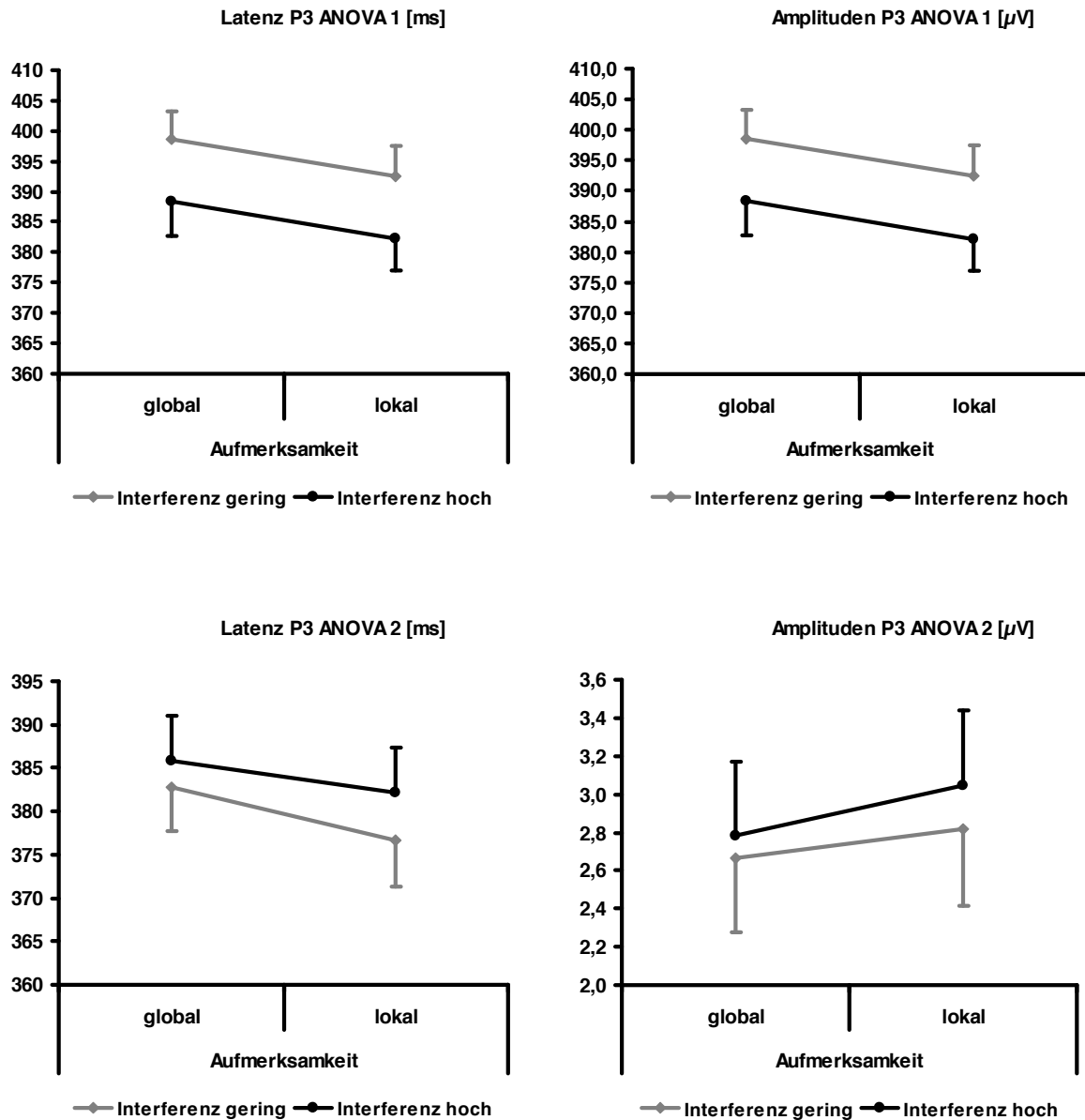


Abbildung 18: Latenzen und Amplituden P3, ANOVA 1 und 2

Bei ANOVA 3 ergab sich ein Interaktionseffekt bezüglich der Latenzzeiten. Die Latenzzeiten waren bei hoher Interferenz und globaler Instruktion signifikant geringer als bei hoher Interferenz und lokaler Instruktion. Dieser Interaktionseffekt ist von uns erwartet und ist ein Zeichen für die Validität unseres Paradigmas bzw. der aus dem Paradigma abgeleiteten ANOVA 1 und ANOVA 2. Auch ANOVA 4 zeigte einen Interaktionseffekt bei den Latenzzeiten, was für die Validität unserer Hypothesen spricht.

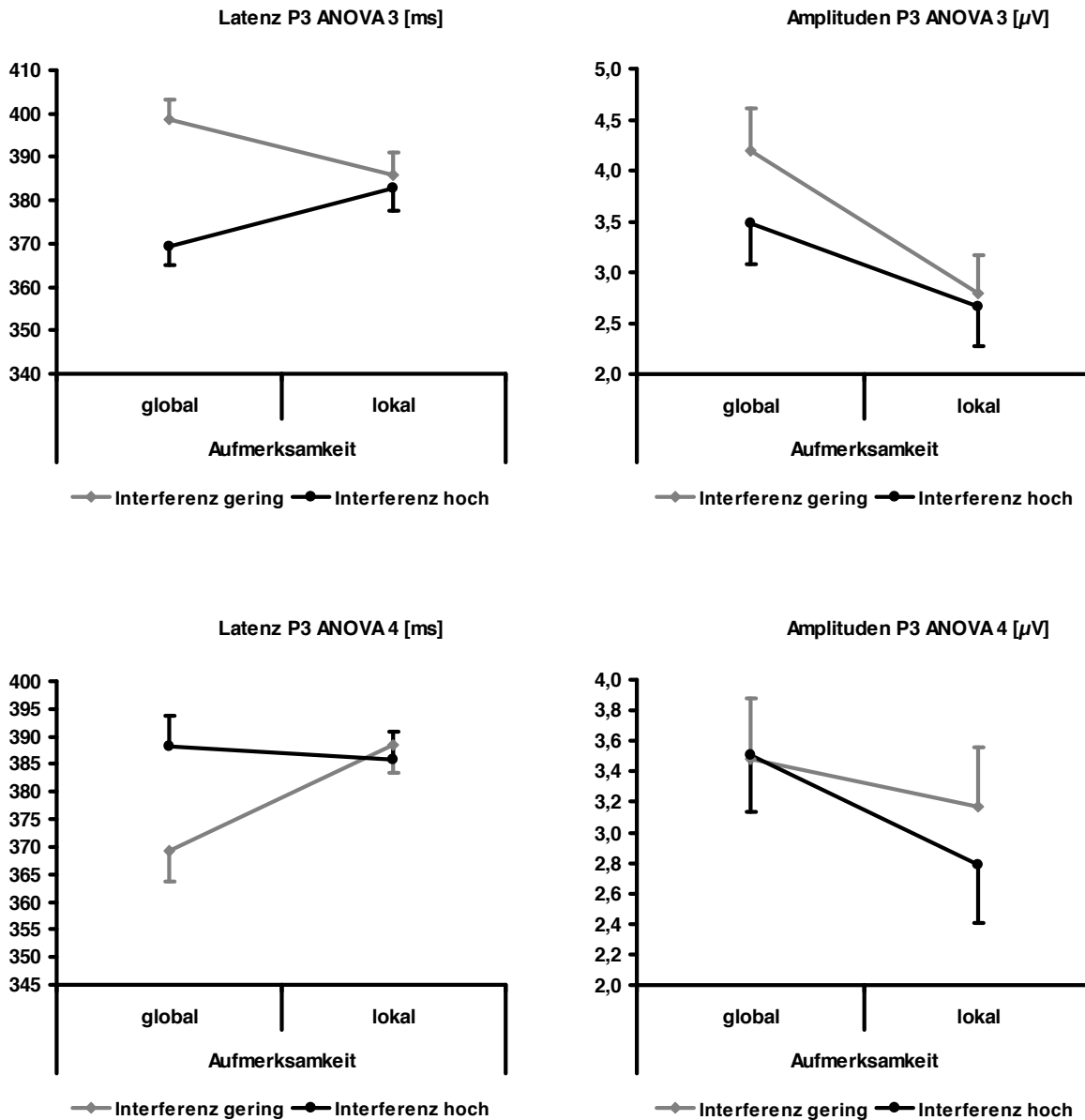


Abbildung 19: Latenzen und Amplituden N2. ANOVA 3 und 4

3.3.5 Konklusion und Ausblick

Anhand der Verhaltensdaten und theoretischer Vorüberlegungen konnten ANOVAs ausgewählt werden, die erlaubten, systematisch die Effekte von Aufmerksamkeit und Interferenz unabhängig voneinander auf behavioraler und elektrophysiologischer Ebene zu untersuchen. Es zeigte sich, dass die ANOVAs, die für die Einflüsse von Interferenz und Aufmerksamkeit kontrolliert sein sollten, nur signifikante Haupteffekte zeigten und somit die Konfundation von Interferenz und Aufmerksamkeit kontrolliert war. Im Sinne einer Kreuzvalidierung zeigten die ANOVAs mit Konfundation von Interferenz und Aufmerksamkeit signifikante Interaktionseffekte. Insgesamt waren die statistischen Effekte auf behavioraler Ebene klarer ausgeprägt als auf

elektrophysiologischer Ebene. Die EKPs zeigten insgesamt wenig signifikante Effekte, die allerdings im Sinne unserer Hypothesen waren. Für die EKPs zeigte sich auch, dass Aufmerksamkeitseffekte in allen Phasen der kortikalen Verarbeitung stattfinden (P1, P2, N2 und P3), während Interferenz wohl erst später verarbeitet wird (P2, N2 und P3). Allerdings zeigte sich keine doppelte Dissoziation, d.h. klassische Interferenz-bezogene Komponenten wie die N2 vermitteln wohl auch Aufmerksamkeitsprozesse. Auch zeigten sich inhaltliche Unterschiede in den EKPs. Während die P1 wohl eher die Aufmerksamkeitszuwendung, also die Bewegung des Aufmerksamkeitscheinwerfers widerspiegelt, stehen die P2 und die P3 wohl eher für die Größe des Scheinwerferpegels bzw. die Größe der zu verarbeitenden Information. Bezüglich der Interferenz zeigte sich, dass die N2 ein Maß für hohe Inkongruenz darstellt. Hohe Interferenz zeigte sich durch kleinere Amplituden und längere Latenzen. Die P3 ist in der Lage Kompensationsmechanismen einzusetzen, d.h. kleinere Amplituden bei hoher Interferenz wurden durch schnellere Latenzen ausgeglichen.

Auch wenn das vorliegende Untersuchungsdesign und die Hereinnahme von EKPs komplex erscheinen, sind wir der Meinung, dass nur so eine klare Trennung der kognitiven Funktionen Interferenz und Aufmerksamkeit möglich ist. Die Verhaltensdaten konnten klar eine Konfundierung von Interferenz und Aufmerksamkeit in den Kontrasten von Blasi und Kollegen (2007) nachweisen. Zudem konnten die EKP-Untersuchung im Gegensatz zu den fMRT-Daten zeigen, dass sie eine sinnvolle Untersuchungsmethode darstellt, zeitliche Prozesse der Konfliktverarbeitung genau darzustellen. Auf Grund der kleinen statistischen Effekte der EKPs erscheinen weitere Untersuchungen allerdings sinnvoll und notwendig.

4. Zusammenfassung

Hintergrund: Diese Studie untersucht den Einfluss des Aufmerksamkeitsfokus und des Interferenzgrades dreidimensionaler Stimuli auf Verhaltensdaten (Anzahl korrekter Antworten, Reaktionszeiten) und elektrophysiologische Daten. Wir orientierten uns hierbei an einem von Blasi gestalteten dreidimensionalen Pfeilbild-Paradigma (Blasi et al., 2005, 2007). Blasis Paradigma darf man insofern als sehr innovativ bezeichnen, da er der einer der wenigen war, der im Bereich der Interferenzforschung dreidimensionales Stimulusmaterial zum Einsatz brachte. Jedoch sind wir der Meinung, dass Blasis Entwurf des Paradigmas sich trotz aller Innovativität nicht in vollem Ausmaß dazu eignet, valide Aussagen über Interferenz und Aufmerksamkeit zu treffen. Der mögliche Einfluss des visuellen Erscheinungsbildes eines Stimulus, die Möglichkeit von Lateralitätseffekten, die Beschränkung auf nur einzelne Pfeilstimuli, sowie die mangelnde Trennung von Interferenz- und Aufmerksamkeitsprozessen fanden dort keine kritische Beachtung. Im Gegensatz zu Blasi führten wir unsere Untersuchungen nicht mit dem fMRI, sondern mittels ereigniskorrelierter Potentiale (P1, P2, N2, P3) durch. Zahlreiche andere Studien vor uns untersuchten bereits die Auswirkungen von Interferenz und Aufmerksamkeitsfokus auf ebendiese Potentiale, da EKPs eine genauere zeitliche Information liefern. Das Besondere an unserem Vorgehen war, dass – soweit in der Literatur bekannt – zum ersten Mal der Einfluss von Aufmerksamkeit und Interferenz völlig unabhängig von dem optischen Erscheinungsbild des Stimulus, ohne einen zu erwarteten Lateralitätseffekt und ohne Konfundation von Interferenz- und Aufmerksamkeitsprozessen diskutiert werden konnte.

Methoden: Es wurden 59 körperlich und psychisch gesunde Probanden durch die Aufzeichnung von Verhaltensdaten und Elektroenzephalogramm (EEG) mit einem visuellen dreidimensionalen Pfeilbild-Paradigma zu Interferenz und Aufmerksamkeitsfokus untersucht. Die Grundbasis unseres Paradigmas ist ein Pfeilbild, welches aus je sechs mittelgroßen Pfeilen besteht und diese wiederum aus sieben kleinen Pfeilen bestehen. Die Richtung, in welche die Pfeilbilder der 3 Ebenen zeigen, wurde von uns variiert. Es wurden alle zwölf möglichen Pfeilbildvariationen verwendet. So entstanden verschiedene Interferenz- bzw. Inkongruenzgrade. Die Probanden wurden instruiert, die globale, mittlere oder lokale Ebene des Pfeilbildes zu betrachten und die Frage, in welche Richtung die globale, mittlere oder lokale Struktur zeigt, zu beantworten. 21 Elektroden wurden dem internationalen 10/20-

System (Jasper et al., 1958) entsprechend platziert. Wir leiteten aus den Verhaltensdaten zulässige ANOVAs ab, welche uns valide Aussagen zu der Rolle von Interferenz und Aufmerksamkeit bei dreidimensionalem Stimulusmaterial liefern sollten.

Ergebnisse und Diskussion:

Bei den Verhaltensdaten (Anzahl korrekter Antworten, Reaktionszeiten) wurde die Instruktion „groß“ im Vergleich zur Instruktion „mittel“ mit kürzeren Reaktionszeiten und mit weniger Fehlern bearbeitet. Die Instruktion „klein“ erbrachte eine signifikant höhere Anzahl korrekter Antworten als die Instruktion „mittel“. Offenbar ist der große Pfeilbildstimulus im Vergleich zum mittleren für das menschliche Gehirn leichter zu verarbeiten. Auch die Bearbeitung des kleinen Pfeilbildes schien den Probanden leichter zu fallen als die Bearbeitung des mittleren Pfeilbildes. Bei dreidimensionalen Stimuli scheint die Randständigkeit der zu beachtenden Ebene eine dem Sehwinkel bzw. der Stimulusgröße übergeordnete Rolle zu spielen. Wie erwartet werden bei höheren Interferenzstufen mehr Fehler gemacht und es wird langsamer reagiert als bei niedrigeren Interferenzstufen.

Für die P1 zeigte sich ein vergleichbares Bild wie für die Verhaltensdaten. Die Amplituden waren für die Betrachtung der mittleren Ebene im Vergleich zur Betrachtung der globalen und lokalen Ebene am größten. Wir interpretierten diesen Befund als Ausdruck der Ausrichtung des Aufmerksamkeitscheinwerfers. Die Interferenz zeigte keine Effekte.

Die P2 und P3 zeigten größere Amplituden für die globaleren im Vergleich zu den lokaleren Ebenen. Die Amplituden der P2 und P3 scheinen die Größe des Aufmerksamkeitskegels bzw. der zu verarbeitenden Information widerzuspiegeln. Die N2 zeigte auch Veränderungen für die Effekte der Aufmerksamkeitszuwendung. Allerdings scheinen kleinere Amplituden für die globale Ebene durch langsamere Latenzzeiten kompensiert zu werden.

Keine Komponente konnte klar den behavioralen Interferenzeffekten mit langsameren Reaktionszeiten und mehr Fehlern zugeordnet werden. Die P2 zeigte höhere Amplitude für den größeren Interferenzgrad. Die N2 zeigte hingegen eine kleinere Amplitude und längere Latenzzeiten. Die P3 zeigte auch kleinere Amplituden, dafür aber kürzere Latenzen. Bezogen auf die Interferenzeffekte lässt sich festhalten, dass jede Komponente in einer anderen Art und Weise Inkongruenz verarbeitet. Für die EKPs lässt sich schlussfolgern, dass Aufmerksamkeitseffekte für

alle drei Komponenten – also für alle analysierten Zeiträume - zu finden sind, während hingegen Interferenz wohl erst auf einer späteren Ebene verarbeitet wird. Insgesamt sind die statistischen Effekte der EKPs im Vergleich zu denen der Verhaltensdaten als gering einzuschätzen.

Ausblick: Trotz der komplexen Versuchsanordnung gelang es in der vorliegenden Arbeit, Interferenz- und Aufmerksamkeitsprozesse zu trennen. Zudem konnten wir zeigen, dass die von Blasi und Kollegen postulierte Aufmerksamkeitskontrolle ein heterogenes Konstrukt ist und die durch diese Autoren definierten Kontraste am ehesten Schwierigkeitsmaße darstellen. Auch die Wahl von EKPs statt fMRT stellte einen Zugewinn dar, da gezeigt werden konnte, dass Aufmerksamkeit und Interferenz getrennte Prozesse darstellen, die auch zeitlich und somit neuronal getrennt verarbeitet werden. Die geringen statistischen Effekte der EKPs legen weitere Untersuchungen nahe.

5. Literaturverzeichnis

Birbaumer, N. und Schmidt, R. F. (1995). Allgemeine Physiologie der Großhirnrinde. In R. F. Schmidt (Ed.), *Neuro- und Sinnesphysiologie* (pp. 369-385). Berlin: Springer

Blasi, G., Goldberg, T. E., Elvevag, B., Rasetti, R., Bertolino, A., Cohen, J., et al. (2007). Differentiating allocation of resources and conflict detection within attentional control processing. *Eur J Neurosci*, 25(2), 594-602.

Blasi, G., Mattay, V. S., Bertolino, A., Elvevag, B., Callicott, J. H., Das, S., et al. (2005). Effect of catechol-O-methyltransferase val158met genotype on attentional control. *J Neurosci*, 25(20), 5038-5045.

Blasi, G., Taurisano, P., Papazacharias, A., Caforio, G., Romano, R., Lobianco, L., et al. (2010). Nonlinear response of the anterior cingulate and prefrontal cortex in schizophrenia as a function of variable attentional control. *Cereb Cortex*, 20(4), 837-845.

Boeschoten, M. A., Kemner, C., Kenemans, J. L. und Engeland, H. (2005). The relationship between local and global processing and the processing of high and low spatial frequencies studied by event-related potentials and source modeling. *Brain Res Cogn Brain Res*, 24(2), 228-236.

Broadbent, D.E. *Perception and communication* (1958). London: Pergamon Press

Broadbent, D. E. (1982). Task combination and selective intake of information. *Acta Psychol (Amst)*, 50(3), 253-290.

Duncan-Johnson, C. C. und Donchin, E. (1977). On quantifying surprise: the variation of event-related potentials with subjective probability. *Psychophysiology*, 14, 456-467.

Eriksen, B. A. und Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics*, 16(1), 143-149

Eriksen, C.W. und Hoffman, J. E. (1972). Temporal and spatial characteristics of selective coding from visual displays. *Perception & Psychophysics*, 12, 210-294

Eriksen, C. W.und Murphy, T. D. (1987). Movement of attentional focus across the visual field: a critical look at the evidence. *Percept Psychophys*, 42(3), 299-305.

Eriksen, C. W. und St James, J. D. (1986). Visual attention within and around the field of focal attention: a zoom lens model. *Percept Psychophys*, 40(4), 225-240.

Fink, G. R., Halligan, P. W., Marshall, J. C., Frith, C. D., Frackowiak, R. S.und Dolan, R. J. (1996). Where in the brain does visual attention select the forest and the trees? *Nature*, 382(6592), 626-628.

Greaney J. und MacRae A.W. (1992). The order of visual processing. Top-down, bottom-up, middle-out, or none of these? *Bulletin of the Psychonomic Society*, 30(3).255-257.

Han, S., Humphreys, G. W. und Chen, L. (1999). Parallel and competitive processes in hierarchical analysis: perceptual grouping and encoding of closure. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 25(5), 1411-1432.

Han, S., Fan, S., Chen, L. und Zhuo, Y. (1999). Modulation of brain activities by hierarchical processing: a high-density ERP study. *Brain Topogr*, 11(3), 171-183.

Han, S., He, X. und Woods, D. L. (2000). Hierarchical processing and level-repetition effect as indexed by early brain potentials. *Psychophysiology*, 37(6), 817-830.

Heinze, H. J. und Münte, T. F. (1993). Electrophysiological correlates of hierarchical stimulus processing: dissociation between onset and later stages of global and local target processing. *Neuropsychologia*, 31(8), 841-852.

Hillyard, S. A., Vogel, E. K. und Luck, S. J. (1998). Sensory gain control (amplification) as a mechanism of selective attention: electrophysiological and neuroimaging evidence. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 353(1373), 1257-1270.

Hopf, J. M. und Mangun, G. R. (2000). Shifting visual attention in space: an electrophysiological analysis using high spatial resolution mapping. *Clin Neurophysiol*, 111(7), 1241-1257.

James, W. (1890). *The Principles of Psychology*. New York: Henry Holt and Company

Johnson, S. C., Lowery, N., Kohler, C. und Turetsky, B. I. (2005). Global-local visual processing in schizophrenia: evidence for an early visual processing deficit. *Biol Psychiatry*, 58(12), 937-946.

Kim, N., Ivry, R. B. und Robertson, L. C. (1999). Sequential priming in hierarchically organized figures: effects of target level and target resolution. [Research Support, U.S. Gov't, Non-P.H.S. Research Support, U.S. Gov't, P.H.S.]. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 25(3), 715-729.

Kim, S. G., Richter, W. und Ugurbil, K. (1997). Limitations of temporal resolution in functional MRI. *Magn Reson Med*, 37(4), 631-636.

Kimchi, R. (1992). Primacy of wholistic processing and global/local paradigm: a critical review. *Psychol Bull*, 112(1), 24-38.

Klem, G. H., Luders, H. O., Jasper, H. H. und Elger, C. (1999). The ten-twenty electrode system of the International Federation. *The International Federation of Clinical Neurophysiology. Electroencephalogr Clin Neurophysiol Suppl*, 52, 3-6.

Kotchoubey, B., Wascher, E. und Verleger, R. (1997). Shifting attention between global features and small details: an event-related potential study. *Biol Psychol*, 46(1), 25-50.

Kutas, M., McCarthy, G. und Donchin, E. (1977). Augmenting mental chronometry: the P300 as a measure of stimulus evaluation time. *Science*, 197(4305), 792-795.

LaBerge, D. (1983). Spatial extent of attention to letters and words. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 9(3), 371-379.

Lamb, M. R., Robertson, L. C. und Knight, R. T. (1989). Attention and interference in the processing of global and local information: effects of unilateral temporal-parietal junction lesions. *Neuropsychologia*, 27(4), 471-483.

Luck S. A., Hillyard SA (2000). The operation of selective attention at multiple stages of processing: evidence from human and monkey electrophysiology. MITPress, 2000. 687-700.

Luck, S. J., Woodman, G. F. und Vogel, E. K. (2000). Event-related potential studies of attention. *Trends Cogn Sci*, 4(11), 432-440.

Luck, Stephen J. (2005). An introduction to the event-related potential technique. MITPress , 36.

Malinowski, P (2001). Funktionelle Gehirnasymmetrien bei der Verarbeitung lokaler und globaler Merkmale visueller Szenen, Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades des Doktors der Sozialwissenschaften an der Universität Konstanz, Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Sektion, Fachbereich Psychologie, Konstanz 2001, 50-56

Malinowski, P., Hubner, R., Keil, A. und Gruber, T. (2002). The influence of response competition on cerebral asymmetries for processing hierarchical stimuli revealed by ERP recordings. *Exp Brain Res*, 144(1), 136-139.

Martinez, A., DiRusso, F., Anllo-Vento, L., Sereno, M. I., Buxton, R. B. und Hillyard, S. A. (2001). Putting spatial attention on the map: timing and localization of stimulus selection processes in striate and extrastriate visual areas. *Vision Res*, 41(10-11), 1437-1457.

McCarthy, G. und Donchin, E. (1981). A metric for thought: a comparison of P300 latency and reaction time. *Science*, 211(4477), 77-80.

Merz, J., Lehrl, S., Galster, V. und Erzigkeit, H. (1975). [The multiple selection vocabulary test (MSVT-B)--an accelerated intelligence test], *Psychiatr Neurol Med Psychol (Leipz)* (Vol. 27, pp. 423-428).

Mouchetant-Rostaing, Y., Giard, M. H., Bentin, S., Aguera, P. E. und Pernier, J. (2000). Neurophysiological correlates of face gender processing in humans. *Eur J Neurosci*, 12(1), 303-310.

Navon, D. (1977). Forest before trees: The precedence of global features in visual perception. *Cognitive Psychology*, 9, 353-383.

Omoto, S., Kuroiwa, Y., Otsuka, S., Baba, Y., Wang, C., Li, M., et al. (2010). P1 and P2 components of human visual evoked potentials are modulated by depth perception of 3-dimensional images. *Clin Neurophysiol*, 121(3), 386-391.

Ortega, R., Lopez, V. und Aboitiz, F. (2008). Voluntary modulations of attention in a semantic auditory-visual matching task: an ERP study. *Biol Res*, 41(4), 453-460.

Patel, S. H. und Azzam, P. N. (2005). Characterization of N200 and P300: selected studies of the Event-Related Potential. *Int J Med Sci*, 2(4), 147-154.

Pfefferbaum, A. und Ford, J. M. (1988). ERPs to stimuli requiring response production and inhibition: effects of age, probability and visual noise. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 71, 55-63.

Posner, M. I., Snyder, C. R. und Davidson, B. J. (1980). Attention and the detection of signals. *J Exp Psychol*, 109(2), 160-174.

Proverbio, A. M., Minniti, A. und Zani, A. (1998). Electrophysiological evidence of a perceptual precedence of global vs. local visual information. *Brain Res Cogn Brain Res*, 6(4), 321-334.

Rijpkema, M., van Aaldereen, S., Schwarzbach, J. und Verstraten, F. A. (2007). Beyond the forest and the trees: local and global interference in hierarchical visual stimuli containing three levels. *Perception*, 36(8), 1115-1122.

Rösler, F. (1982). *Hirnelektrische Korrelate kognitiver Prozesse*. Berlin: Springer.

Schmitt, B. M., Munte, T. F. und Kutas, M. (2000). Electrophysiological estimates of the time course of semantic and phonological encoding during implicit picture naming. *Psychophysiology*, 37(4), 473-484.

Sutton, S., Braren, M., Zubin, J. und John, E. R. (1965). Evoked-potential correlates of stimulus uncertainty. *Science*, 150, 1187-1188.

Stoffer, T. H. (1991). [Processing a hierarchy of stimulus pattern of 3 dimensions: a test of Navon's precedence hypothesis]. *Z Exp Angew Psychol*, 38(1), 113-148.
<http://de.wikipedia.org/wiki/Aufmerksamkeit>, Stand 02.02.2012

Taylor, M. J. (2002). Non-spatial attentional effects on P1. *Clin Neurophysiol*, 113(12), 1903-1908.

Woodman, G. F. (2005). A brief introduction to the use of event-related potentials in studies of perception and attention. *Atten Percept Psychophys*, 72(8), 2031-2046.

6. Anhang

	Anzahl korrekter Antworten			Reaktionszeit		
	T	p	d	T	p	d
1 vs. 2	3,673	<0.001	0,48	-6,685	<0.001	0,87
1 vs. 3	5,717	<0.001	0,74	-9,875	<0.001	1,29
1 vs. 4	7,245	<0.001	0,94	-11,713	<0.001	1,52
2 vs. 3	3,482	<0.001	0,45	-4,754	<0.001	0,62
2 vs. 4	6,312	<0.001	0,82	-9,909	<0.001	1,29
3 vs. 4	4,090	<0.001	0,53	-4,778	<0.001	0,62
5 vs. 6	9,343	<0.001	1,22	-11,593	<0.001	1,51
5 vs. 7	8,352	<0.001	1,09	-14,382	<0.001	1,87
5 vs. 8	2,720	0.009	0,35	-3,209	0.002	0,42
6 vs. 7	1,409	0.164	0,18	-3,012	0.004	0,39
6 vs. 8	-6,412	<0.001	0,83	8,407	<0.001	1,09
7 vs. 8	-6,463	<0.001	0,84	11,090	<0.001	1,44
9 vs. 10	8,657	<0.001	1,13	-9,864	<0.001	1,28
9 vs. 11	8,597	<0.001	1,12	-9,021	<0.001	1,17
9 vs. 12	2,744	0.008	0,36	-1,815	0.075	0,24
10 vs. 11	-,156	0.876	0,02	1,739	0.087	0,23
10 vs. 12	-7,656	<0.001	1,00	10,120	<0.001	1,32
11 vs. 12	-6,985	<0.001	0,91	9,473	<0.001	1,23

Tabelle 1: Ergebnisse der T-Tests für die Verhaltensdaten (Anzahl korrekter Antworten, Reaktionszeiten)

ANOVAs 1-4 (df=1,58) F; p; η^2)

		Verhalten		P1		P2		N2		P3	
		Anzahl korrekter Antworten	Reaktionszeit	Latenzzeit	Amplitude	Latenzzeit	Amplitude	Latenzzeit	Amplitude	Latenzzeit	Amplitude
ANOVA 1	Aufmerksamkeitsfokus (2+4 vs. 12+10)	7.630 0.008 0.116	42.220 <0.001 0.421	1.939 0.169 0.032	0.005 0.943 <0.001	0.596 0.443 0.010	28.524 <0.001 0.330	7.216 0.009 0.111	9.101 0.004 0.136	2.389 0.128 0.040	10.436 0.002 0.152
	Interference (2+12 vs. 4+10)	87.035 <0.001 0.600	249.634 <0.001 0.811	0.175 0.677 0.003	2.095 0.153 0.035	0.704 0.405 0.012	0.698 0.407 0.012	4.288 0.043 0.069	1.493 0.227 0.025	6.089 0.017 0.095	9.839 0.003 0.145
	Interaction	0.423 0.518 0.007	0.044 0.834 0.001	0.520 0.474 0.009	<0.001 0.998 <0.001	0.015 0.903 <0.001	0.074 0.787 0.001	0.457 0.502 0.008	0.403 0.528 0.007	<0.001 0.996 <0.001	1.065 0.306 0.018
	Aufmerksamkeitsfokus (6+7 vs. 11+10)	7.098 0.010 0.109	46.934 <0.001 0.447	0.163 0.688 0.003	5.845 0.019 0.092	0.940 0.336 0.016	0.118 0.733 0.002	1.027 0.315 0.017	0.320 0.574 0.005	1.182 0.281 0.020	0.966 0.330 0.016
	Interference (6+11 vs. 7+10)	1.286 0.261 0.022	14.387 <0.001 0.199	0.767 0.385 0.013	0.094 0.760 0.002	4.338 0.042 0.070	1.018 0.317 0.017	1.891 0.174 0.032	4.838 0.032 0.077	1.008 0.320 0.017	0.890 0.349 0.015
	Interaction	1.324 0.255 0.022	1.329 0.254 0.022	0.380 0.540 0.007	0.374 0.543 0.006	0.114 0.736 0.002	0.970 0.329 0.016	0.055 0.815 0.001	0.062 0.805 0.001	0.074 0.786 0.001	0.156 0.694 0.003
ANOVA 3	Aufmerksamkeitsfokus (2+3 vs. 7+6)	102.563 <0.001 0.639	619.825 <0.001 0.914	1.606 0.210 0.027	6.133 0.016 0.096	3.840 0.055 0.062	26.131 <0.001 0.311	0.246 0.622 0.004	16.077 <0.001 0.217	0.008 0.930 <0.001	19.516 <0.001 0.252
	Interference (3+6 vs. 2+7)	0.192 0.663 0.003	1.336 0.253 0.023	0.664 0.418 0.011	1.119 0.294 0.019	2.014 0.161 0.034	0.047 0.828 0.001	5.121 0.027 0.081	0.014 0.905 <0.001	11.053 0.002 0.160	8.779 0.004 0.131
	Interaction	9.852 0.003 0.145	35.345 <0.001 0.379	0.541 0.465 0.009	0.612 0.437 0.010	1.092 0.300 0.018	0.001 0.975 <0.001	0.556 0.459 0.010	4.365 0.041 0.070	9.864 0.003 0.145	3.083 0.084 0.050

ANOVA 4	Aufmerksam- keitsfokus (3+4 vs. 8+7)	14.987 <0.001 0.205	218.658 <0.001 0.790	1.966 0.166 0.033	17.988 <0.001 0.237	2.310 0.134 0.038	16.055 <0.001 0.217	0.038 0.845 0.001	9.579 0.003 0.142	3.826 0.055 0.062	6.790 0.012 0.105	
	Interference (4+7 vs. 3+8)	49.749 <0.001 0.462	86.996 <0.001 0.600	0.424 0.517 0.007	0.825 0.367 0.014	1.978 0.165 0.033	1.198 0.278 0.020	9.656 0.003 0.143	2.824 0.098 0.046	3.019 0.088 0.049	1.174 0.283 0.020	
	Interaction	13.612 <0.001 0.190	55.958 <0.001 0.491	0.327 0.570 0.006	2.095 0.153 0.035	0.011 0.918 <0.001	3.791 0.056 0.061	2.181 0.145 0.036	2.181 0.629 0.004	0.237 0.009 0.113	7.396 0.189 0.030	1.765

Tabelle 2: Statistische Daten der Verhaltensdaten und ereigniskorrelierten Potentiale zu ANOVA 1-4

Danksagung

Ich möchte mich sehr bei Herrn Prof. Andreas J. Fallgatter für die Überlassung dieses interessanten Themas und die Bereitstellung der technischen Voraussetzungen für die Durchführung dieser Arbeit bedanken.

Auch danken möchte ich Prof. Dr. med. Marcel Romanos für die freundliche Übernahme der Zweitkorrektur.

Mein besonderer Dank gilt meinem Betreuer Dr. Martin Schecklmann. Seine intensive Betreuung, unermüdliche Energie und Begeisterungsfähigkeit hat mich während der gesamten Zeit sehr motiviert. Danke vor allem auch für die konstruktive Kritik, die zeitnahen Korrekturen und tolle Arbeitsatmosphäre.

Moralisch immer unterstützt wurde ich auch von meiner Familie und meinen Freunden. Danke hierfür!

Lebenslauf

Persönliche Daten

Geburtsdatum 30.07.1983
Geburtsort Werneck
Familienstand ledig

Schulausbildung

1990 - 1994 Kerschensteiner Grundschule, Schweinfurt
1994 – 2003 Celtis-Gymnasium, Schweinfurt
06/2003 Abitur Celtis-Gymnasium Schweinfurt

Studium

2003 - 2006 Humanmedizin, Julius-Maximilians-Universität Würzburg
09/2005 Physikum (1. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung), Univ. Würzburg
2006-2007 Studienaufenthalt an der medizinischen Fakultät, Universität Umeå, Schweden
2007-2010 Humanmedizin, Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Abschluss mit dem 2. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung 11/2010

Berufliche Erfahrungen

Seit 05/2011 Assistenzärztin Allgemeinchirurgie Krankenhaus Mainburg, Ilmtalklinik GmbH, Dr. med. T. Pausch
Seit 07/2011 Lehrtätigkeit an der Krankenpflegeschule Mainburg
Seit 12/2011 Bereitschaftsärztin Münchner Leichenschauendienst
Seit 04/2012 Assistenzärztin Viszeralchirurgie Krankenhaus der Barmherzigen Brüder, München, Dr. med. C. Reuter

Praktische Erfahrungen

02-03/2006 Famulatur, Herz-Thoraxchirurgie, Klinikum Großhadern München, Prof. Dr. med. Bruno Reichart
11/2006- 01/2007 Kardiologische Abteilung, Universitätsklinikum Umeå, Schweden
02/2007- 03/2007 Pädiatrische Abteilung, Universitätsklinikum Umeå, Schweden
04/2007- 05/2007 Gynäkologische Abteilung, Universitätsklinikum Umeå, Schweden
03/2008 Famulatur, Neurologie, Juliusspital Würzburg, Dr. med. Hans Molitor
07/2009 – 10/2009 Praktisches Jahr, Chirurgische Klinik, Universitätsklinikum Würzburg, Prof. Dr. C.-T. Germer, Prof. Dr. R. Meffert
10/2009 – 12/2009 Praktisches Jahr, Department of Surgery, Flinders Medical Center, Adelaide, University of South Australia, Dr. Med. Paul Hollington
12/2009 – 03/2010 Praktisches Jahr, Psychiatrische Klinik und Poliklinik, Universitätsklinikum Würzburg, Prof. Dr. med. Jürgen Deckert
04/2010 - 07/2010 Praktisches Jahr, Medizinische Klinik, Spital Limmattal, Kanton Zürich, Schweiz, Dr. med. Basil Caduff

Zusätzliche Qualifikationen

04/2008 – 05/2009 Hilfwissenschaftliche Tätigkeit, Neurologie, Juliusspital Würzburg, Dr. med. Molitor
04/2008 – 04/2009 Hilfwissenschaftliche Tätigkeit, Infektiologie, Universitätsklinikum Würzburg, Prof. Dr. Klinker
10/2008 – 07/2009 Wahlfach Differenzialdiagnosen „Neurologie“
08/2011 Teilnahme an den Leichenschaumodulen I und II Institut für Rechtsmedizin, LMU München

Sprachkenntnisse Latein, Englisch, Schwedisch (Tisus-Sprachzertifikat)

Computerkenntnisse Microsoft Word, Excel, Powerpoint

Interessen

Joggen, Wintersport (Abfahrt- und Tourenski, Langlauf), Bergsport, Lesen, Reisen, Klavierspielen