

Aus der Klinik für Neurologie  
der Universität zu Lübeck  
Direktor: Prof. Dr. D. Kömpf

---

**Untersuchung eines negativen EEG-Potentials bei  
der visuellen Verarbeitung von Pfeilreizen**

**– ein Indikator für die Wahrnehmung klarer und  
vertrauter Gestalten? –**

Inauguraldissertation  
zur Erlangung der Doktorwürde  
der Universität zu Lübeck  
– Aus der Medizinischen Fakultät –

vorgelegt von  
Stefani Görjen  
aus Braunschweig

Lübeck 2006

1. Berichterstatter: Prof. Dr. rer. soc. Rolf Verleger
2. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. med. Johannes Klein

**Tag der mündlichen Prüfung: 12.06.2007**

**zum Druck genehmigt. Lübeck, den 12.06.2007**

**gez. Prof. Dr. med. Werner Solbach**

**- Dekan der Medizinischen Fakultät -**

# INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	4
1.1 EEG.....	4
1.1.1 Physiologische Grundlagen.....	4
1.1.2 Historische Grundlagen.....	5
1.1.3 Ereigniskorrelierte Potentiale.....	6
1.2 Paradigma.....	9
1.3 Hypothesen anderer Autoren zum inversen Bahnungseffekt.....	11
1.4 Thema dieser Studie.....	16
<b>2 EXPERIMENT 1</b> .....	19
2.1 Einleitung.....	19
2.2 Material und Methoden.....	20
2.2.1 Versuchsteilnehmer.....	20
2.2.2 Versuchsaufbau.....	20
2.2.3 Stimuli und Versuchsdurchführung.....	21
2.2.4 EEG.....	25
2.3 Datenanalyse.....	27
2.4 Ergebnisse.....	28
2.4.1 EEG-Potentiale.....	28
2.4.2 Verhalten.....	32
2.5 Diskussion.....	34

<b>3</b>	<b>EXPERIMENT 2</b> .....	35
3.1	Einleitung.....	35
3.2	Material und Methoden.....	36
	3.2.1 Versuchsteilnehmer.....	36
	3.2.2 Versuchsaufbau.....	36
	3.2.3 Stimuli und Versuchsdurchführung.....	37
	3.2.4 EEG.....	39
3.3	Datenanalyse.....	39
3.4	Ergebnisse.....	40
	3.4.1 EEG-Potentiale.....	40
	3.4.2 Verhalten.....	41
3.5	Diskussion.....	47
<b>4</b>	<b>EXPERIMENT 3</b> .....	48
4.1	Einleitung.....	48
4.2	Material und Methoden.....	50
	4.2.1 Versuchsteilnehmer.....	50
	4.2.2 Versuchsaufbau.....	50
	4.2.3 Stimuli und Versuchsdurchführung.....	50
	4.2.4 EEG.....	51
4.3	Datenanalyse.....	51
4.4	Ergebnisse.....	51
	4.4.1 EEG-Potentiale.....	51
	4.4.2 Verhalten.....	55
4.5	Diskussion.....	57

<b>5</b>	<b>ABSCHLUSSDISKUSSION</b> .....	60
5.1	Zusammenfassung der Ergebnisse für die Nd-Maske.....	60
5.2	Kurzfristige unterschiedliche Negativierung bei N1.....	60
5.3	Effekte der Reizrelevanz auf die Nd- Maske.....	61
5.4	Effekte auf das Verhalten.....	63
5.5	Nd-Maske und inverser Bahnungseffekt.....	67
<b>6</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	69
<b>7</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	71
<b>8</b>	<b>ANHANG</b> .....	76
8.1	Abkürzungsverzeichnis.....	76
8.2	Danksagung.....	77
8.3	Lebenslauf.....	78

# **1 EINLEITUNG**

## **1.1 EEG**

### **1.1.1 Physiologische Grundlagen**

Das EEG (Elektroencephalogramm) stellt das Verfahren zur Ableitung der spontanen und evozierten elektrischen Aktivität des Gehirns dar. Dabei werden Spannungsschwankungen mittels an der Kopfhaut angebrachter Elektroden registriert, die Frequenzen zwischen 0 und 80 Hz mit Amplituden bis 100  $\mu\text{V}$  aufweisen können (Schmidt et al., 2000). Aufgrund der schlechten Leitfähigkeit des Hirngewebes entstammen die aufgezeichneten Potentialschwankungen der Großhirnrinde (Kortex) (Neundörfer, 2002). Da die Ableitelektroden einen relativ großen Abstand zur Gehirnoberfläche haben und die dazwischen liegenden Strukturen (Schädelknochen, Kopfhaut) eine schlechte Leitfähigkeit aufweisen, sind die Amplituden der registrierten EEG-Potentiale 100–1000 mal kleiner als die tatsächlichen Potentiale (Schmidt et al., 2000).

Man geht nach derzeitigem Kenntnisstand davon aus, dass die kortikalen Spannungsschwankungen hauptsächlich als Folge exzitatorischer (erregender) und inhibitorischer (hemmender) postsynaptischer Dendritenpotentiale der großen Pyramidenzellen entstehen, die als Summenpotentiale innerhalb größerer Nervenzellverbände auftreten (Neundörfer, 2002). Dabei spielen die exzitatorischen synaptischen Potentiale aufgrund ihrer größeren extrazellulären Ströme die bedeutendste Rolle (Schmidt et al., 2000).

Da eine einzelne Elektrode die elektrische Aktivität sehr vieler Neurone erfasst, kommt es nur dann im EEG zu einer großen Amplitude, wenn die Mehrzahl der Neurone des Einzugsbereichs einer Elektrode synchron aktiviert oder gehemmt werden (Schmidt et al., 2000).

### **1.1.2 Historische Grundlagen**

Im Jahre 1875 gelang es dem britischen Physiologen Richard Caton erstmals, elektrische Hirnstromwellen von Katzen, Affen und Kaninchen mit Hilfe eines einfachen Galvanometers mit optischer Verstärkung zu registrieren. In den folgenden Jahren beschäftigten sich mehrere Wissenschaftler mit der Ableitung des Elektroencephalogramms von Säugetieren, bis es dem Psychiater Hans Berger im Jahre 1924 zum ersten Mal gelang, elektrische Hirnstromwellen mit Saiten- und Doppelpulgalvanometern von menschlichen Gehirnen abzuleiten. Aufgrund seiner engen Zusammenarbeit mit Neurochirurgen führte Berger seine Arbeit an Patienten durch, denen Teile des Schädelknochens entfernt worden waren, so dass er sog. Nadelelektroden direkt an der Gehirnoberfläche anbringen konnte. Es vergingen fünf Jahre, bis Berger 1929 seine Beobachtungen veröffentlichte, die 1934 von Adrian und Matthews bestätigt wurden. Die Entwicklung eines Tintenschreibergerätes von Tönnies zur direkten Aufzeichnung der EEG-Kurven bahnte 1932–1935 den Weg zur Einführung des Elektroencephalogramms in die klinische Routinediagnostik, wo die EEG-Ableitung in der Regel von der äußeren Kopfhaut erfolgt. (Cooper et al., 1984)

Somit konnte nicht nur die physiologische Funktionsweise des Gehirns weiter erforscht werden, sondern auch pathologische Zustände wie beispielsweise Epilepsien konnten erkannt werden. Die folgenden Jahre brachten zahlreiche Erkenntnisse über EEG-Veränderungen bei Erkrankungen, die die Hirnfunktion beeinträchtigen. (Vollmer-Brüggemann, 2002)

Die grundlegende Technik der EEG-Ableitung hat sich seit 1940 nur wenig verändert. Dafür wurde die Qualität der Messungen durch die Weiterentwicklung der Verstärkertechnik erheblich verbessert. So konnte einerseits die Signalintensität erhöht werden, andererseits konnten die von äußeren Quellen ausgehenden Störungen besser eliminiert werden. (Vollmer-Brüggemann, 2002)

Heute gestatten moderne digitale EEG-Geräte die papierlose EEG-Registrierung, wobei die auf dem Bildschirm sichtbar gemachten EEG-Kurven jenen auf den Papierregistrierungen entsprechen. Durch die elektronische Speicherung der Signale des EEG-Verstärkers und die Entwicklung von Analog/Digitalwandlern wurde die direkte EEG-Auswertung am Computerbildschirm möglich. (Neundörfer, 2002)

### **1.1.3 Ereigniskorrelierte Potentiale**

Bei sensorischen, motorischen und psychischen Ereignissen (Schmidt et al., 2000) lässt sich im EEG eine spezifische hirnelektrische Reaktion messen, die in exogene und endogene Komponenten unterteilt wird (Stöhr et al., 1989). Die exogenen Komponenten sind die frühen Potentiale einer hirnelektrischen Reaktion auf einen Reiz, deren Amplitude, Latenz und Topographie eine strenge Korrelation zu den physikalischen Eigenschaften des Reizes aufweisen (Maurer et al., 1988) und vom Intaktsein der an der Reizweiterleitung und -verarbeitung beteiligten Strukturen des Nervensystems bestimmt werden. Diese als Evozierte Potentiale („EPs“) bezeichneten frühen Potentiale (Stöhr et al., 1989) finden in der klinischen Diagnostik Verwendung. Je nach Eigenschaft des dargebotenen Reizes unterscheidet man visuell, akustisch und somatosensorisch evozierte Potentiale (Vollmer-Brüggemann, 2002). So werden beispielsweise in der klinischen Diagnostik akustisch und visuell evozierte Potentiale zur Überprüfung der Funktion der Hör- und Sehbahn untersucht (Schmidt et al., 2000).

Komplexe Prozesse der Informationsverarbeitung spiegeln sich in späteren Potentialen (> 60 ms) wider (Schmidt et al., 2000). Da diese weniger von den physikalischen Eigenschaften des Reizes als vielmehr von psychologisch-subjektiven Faktoren wie beispielsweise Aufmerksamkeit oder der Bedeutung eines Reizes abhängen, werden sie als endogene Komponenten der Ereigniskorrelierten Potentiale (ERPs) bezeichnet (Schmidt et



al., 2000). Sie spielen bei der Erforschung physiologischer, in die Informationsverarbeitung einbezogener Prozesse im Gehirn eine wichtige Rolle und lassen sich durch experimentelle Einflüsse variieren.

Dabei werden entsprechend definierte Versuchsbedingungen geschaffen und anschließend modifiziert, so dass beispielsweise die Aufgabenrelevanz eines Reizes und die Aufmerksamkeit systematisch variieren.

Evozierte und Ereigniskorrelierte Potentiale sind durch ihre Polarität („N“ für negativ = Aufwärtsamplitude, „P“ für positiv = Abwärtsamplitude), ihre Latenz (Zeitraum zwischen Einsetzen des Reizes und dem Zeitpunkt des Gipfels des ERPs) und ihre Topographie (Elektrodenpositionen an der Kopfhaut) gekennzeichnet. Auftretende Potentialspitzen werden dabei nach ihrer Polarität und Latenz benannt, z.B. N1-Komponente (N100), wobei die Komponente das direkt mit spezifischen Prozessen der Informationsverarbeitung verknüpfte EEG-Äquivalent bezeichnet (Stöhr et al., 1989).

Im Folgenden ist insbesondere das visuell evozierte Potential (VEP) von Bedeutung. Dieses lässt sich nach entsprechender visueller Reizdarbietung über dem okzipitalen Kortex (Hinterkopf) ableiten und spiegelt die Verschaltung und Verarbeitung eines visuellen Reizes innerhalb der Sehbahn und die Projektion auf die kortikale Sehrinde wider. (Stöhr et al., 1989)

Dabei bewirkt ein großflächiger diffuser Lichtblitz ein einfaches VEP, dessen Wellen und Latenzzeiten von den Eigenschaften des Reizlichtes abhängen (exogene Komponenten). Komplexe visuelle Reizmuster (Bilder von Objekten, Gesichter etc.) lösen visuell evozierte Potentiale aus, die bereits Komponenten gestaltspezifischer visuell-kognitiver Prozesse enthalten (endogene Komponenten) (Schmidt et al., 2000).

Das VEP besteht aus der charakteristischen Aufeinanderfolge negativer und positiver Amplituden: Der erste Ausschlag (negativ) erscheint bei etwa 40 ms und ist nur selten zu

erkennen. Der zweite Ausschlag, P80 oder N80, spiegelt die frühe visuelle Verarbeitung in der primären Sehrinde wider und ist von den physikalischen Eigenschaften des Reizes abhängig. Amplitude und Latenz der folgenden P1-Komponente (bei 100–140 ms) werden sowohl von der Ortsfrequenz (Anzahl bestimmter Ereignisse an einem definierten Ort, z.B. Anzahl der Kanten, Ecken, Überschneidungen) des Reizes (größere Amplitude und kürzere Latenz bei niedriger Ortsfrequenz und umgekehrt) als auch von der subjektiven Aufmerksamkeit und Erwartung beeinflusst. So ist die Amplitude bei der Reaktion auf einen bestimmten Reiz aus einer Reihe von Reizen größer. Der P1 folgen die negativen Ausschläge N1 und N2, die beide ebenfalls stark von der Aufmerksamkeit beeinflusst werden, so dass es bei gesteigerter Aufmerksamkeit für bestimmte Reize zu einer Zunahme der Negativierung zwischen 150 und 300 ms kommt, die „Selection negativity“ oder „Verarbeitungsnegativierung“ genannt wird (Proverbio und Zani). Dem folgt eine P300-Komponente, die ebenfalls von endogenen Faktoren beeinflusst wird. (*Proverbio und Zani*)

Verglichen mit der spontanen EEG-Aktivität sind Ereigniskorrelierte Potentiale eher niedrigamplitudige Signale, die nach einmaliger Reizung aus der Grundtätigkeit des EEG nicht herausgefiltert werden können. Daher müssen die Reize vielfach dargeboten und die aufgezeichneten Potentiale überlagert und gemittelt werden. Das EEG wird dabei im jeweils gleichen Zeitabschnitt nach wiederholter Reizdarbietung in einem Datenspeicher aufsummiert. Dieser Vorgang führt zur Verstärkung des durch den Reiz ausgelösten EEG-Signals und zur Reduktion störender Signale der EEG-Hintergrundsaktivität („Rauschen“) (Stöhr et al., 1989). Die streng zeitkorrelierten evozierten Potentiale können auf diese Weise aus den gemittelten EEG-Kurven extrahiert werden (Stöhr et al., 1989). Die zeitlichen Abstände zwischen den Signaldarbietungen müssen so groß gewählt werden, dass das Gehirn in den Reizpausen immer wieder zur Ruhe kommen kann, so dass nach jedem Signal eine erneute Einzelantwort entsteht. Diese Form der Einzelreizung, auch

„transientes“ EP genannt, wird im Folgenden angewandt. Dem gegenüber steht die frequente Reizung, die zu einer sinusförmigen Antwort („steady state“ EP) führt (Maurer et al., 1988).

## **1.2 Paradigma**

Dieser Studie liegt ein Paradigma zugrunde, das Eimer und Schlaghecken (1998) während ihrer Forschung über den Einfluss unbewusster visueller Wahrnehmung auf die motorische Reaktion einführten. Wie auch in anderen Arbeiten zuvor (z.B. Neumann und Klotz, 1994) werden dabei kurz präsentierte Reize von einem unmittelbar folgenden, als „Maske“ bezeichneten Reiz unsichtbar gemacht. Auf einen dritten Reiz, „Zielreiz“ genannt, soll der Versuchsteilnehmer schließlich per Tastendruck reagieren. Da der unsichtbare Reiz sozusagen die Reaktion auf den Zielreiz vorbereitet (bahnt), wird dieser als „Bahnungsreiz“ bezeichnet. Es wurde bereits in früheren Studien (z.B. Neumann und Klotz, 1994) ein deutlicher Einfluss des Bahnungsreizes auf die Reaktion beschrieben, und zwar insofern, als dass die Reaktionszeiten beschleunigt und die Fehlerquote niedriger waren, wenn der Zielreiz und der Bahnungsreiz identisch waren. Bei gegensätzlichen Reizen hingegen waren im Vergleich zu neutralen Reizen die Reaktionszeiten langsamer und die Fehlerquote höher. Dieser Effekt wird im Folgenden als „direkter Bahnungseffekt“ bezeichnet (im Gegensatz zum „inversen Bahnungseffekt“, s.u.).

In Eimer und Schlaghecken (1998) bestanden die Bahnungs- und Zielreize aus Pfeilpaaren, die in der Mitte eines Bildschirms präsentiert wurden. In einem Fall zeigten die Pfeilpaare der Bahnungs- und Zielreize in die gleiche Richtung (kongruente Reize) und in einem anderen Fall in entgegengesetzte Richtungen (inkongruente Reize). Die Maske bestand aus der Überlagerung der beiden nach rechts und nach links zeigenden Pfeilpaare und hatte die Aufgabe, den Bahnungsreiz unsichtbar zu machen, so dass die Versuchsteilnehmer diesen

nur unbewusst wahrnehmen konnten. Die drei Stimuli folgten innerhalb eines Durchganges ohne Intervall aufeinander, wobei der Bahnungsreiz für 17 ms, die Maske für 100 ms und der Zielreiz ebenfalls für die Dauer von 100 ms dargeboten wurden. Dabei sollte jeweils auf den Zielreiz mit Rechts- oder Linksdruck auf der Tastatur reagiert werden.

Um den Einfluss der unbewussten Wahrnehmung des Bahnungsreizes auf die motorische Aktivierung zu untersuchen, wurden die Reaktionszeiten und Fehlerquoten ermittelt. Zusätzlich wurde im EEG das Lateralisierte Bereitschaftspotential (LRP) gemessen. Entsprechend vorausgehender Studien wurde bei Kongruenz der Reize eine Aktivierung der richtigen und bei Inkongruenz eine Aktivierung der falschen Antwort erwartet. Diese Effekte sollten sich auch im Reaktionsverhalten widerspiegeln (schnellere Reaktion und weniger Fehler bei kongruenten Reizen, umgekehrt bei inkongruenten Reizen, wie bei Neumann und Klotz (1994)). Überraschenderweise stellte sich jedoch der gegenteilige Effekt ein, d.h., im Vergleich mit neutralen Bahnungsreizen erfolgten die Reaktionen auf die Zielreize verzögert, und die Fehlerrate war erhöht, wenn die Pfeilpaare der Bahnungs- und Zielreize in die gleiche Richtung zeigten. Dementsprechend waren die Reaktionszeiten kürzer und die Fehlerrate niedriger, wenn die Pfeilpaare in entgegengesetzte Richtungen zeigten. Diese Ergebnisse wurden von einem entsprechenden LRP-Muster begleitet, aus dem hervorging, dass initial eine Reaktion in die Richtung des Bahnungsreiz-Pfeilpaares aktiviert wurde. Das LRP-Muster zeigte jedoch, dass der initialen Aktivierung auf der gleichen Seite unmittelbar eine Hemmung folgte, so dass letztendlich bei kongruenten Bahnungs- und Zielreizen die richtige Reaktion gehemmt und die falsche gefördert wurde und umgekehrt bei inkongruenten Reizen die richtige Reaktion gefördert wurde.

Die Verzögerung der Reaktionszeiten und Erhöhung der Fehlerquote bei kongruenten Bahnungs- und Zielreizen und umgekehrt die schnellere Reaktion und niedrigere Fehlerquote bei inkongruenten Reizen wird im Folgenden als „inverser Bahnungseffekt“ bezeichnet.

### **1.3 Hypothesen anderer Autoren zum inversen Bahnungseffekt**

Eimer und Schlaghecken (Eimer und Schlaghecken, 1998; Eimer und Schlaghecken, 2002; Schlaghecken und Eimer, 2002) beschrieben in ihren Arbeiten, dass das Phänomen des inversen Bahnungseffektes dadurch zustande kommen könnte, dass der initialen Aktivierung, hervorgerufen vom Bahnungsreiz, automatisch eine hemmende Gegenantwort folgt, und dass dieser Prozess einer allgemeinen Regelmäßigkeit der maskierten Bahnung unterliegt, die in anderen Arbeiten, die den direkten Bahnungseffekt erhielten, aus verschiedenen Gründen nur nicht zum Tragen kam.

Eimer und Schlaghecken (2002) untersuchten den Zusammenhang zwischen der unbewussten Wahrnehmung eines visuellen Reizes und der geschilderten Reaktionshemmung, indem sie die Sichtbarkeit des Bahnungsreizes modifizierten. Sie entdeckten eine positive Korrelation zwischen dem Grad der unbewussten Wahrnehmung eines Bahnungsreizes und dem Einsetzen des Hemmungsprozesses, wobei die unbewusste Wahrnehmung einen bestimmten Schwellenwert erreichen musste, damit ein Hemmungsprozess ausgelöst werden konnte. Waren die Bahnungsreize für die Versuchsperson sichtbar, so blieben der Hemmungsprozess und folglich auch der inverse Bahnungseffekt aus, d.h., die Reaktionen erfolgten im Falle der bewussten Wahrnehmung der Bahnungsreize bei kompatiblen Reizen schneller als bei inkompatiblen. Eimer und Schlaghecken (2002) argumentierten, dass die Erleichterung der richtigen Reaktion durch bewusst wahrgenommene Reize dem automatischen Hemmungsprozess entgegenwirken kann. Zudem stellten sie die Hypothese auf, dass die bewusste und unbewusste Wahrnehmung unterschiedlichen Verarbeitungsprozessen unterliegt und der inverse Bahnungseffekt die unbewusste Verarbeitung des Bahnungsreizes widerspiegelt.

Auch Klapp und Hinkley (2002) vertraten die Meinung, dass der inverse Bahnungseffekt von der unbewussten Wahrnehmung des Bahnungsreizes abhängt.

Schlaghecken und Eimer (2002) beschrieben in ihrer Arbeit, dass der inverse Bahnungseffekt nicht nur dann ausblieb, wenn die Bahnungsreize aufgrund einer uneffizienten Maskierung sichtbar wurden, sondern auch, wenn sie wie in vorausgegangenen Studien (z.B. Neumann und Klotz, 1994) peripher statt zentral präsentiert wurden und somit die Wahrnehmungsstärke herabgesetzt war. Schlaghecken und Eimer (2002) zeigten auch, dass der inverse Bahnungseffekt nicht mehr nachweisbar war, wenn man die Wahrnehmungsstärke eines zentralen Bahnungsreizes abschwächte. Umgekehrt wurde der inverse Bahnungseffekt bei peripheren Reizen signifikant, wenn die Wahrnehmungsstärke des Bahnungsreizes durch eine verzögerte Darbietung der Maske verstärkt wurde. Schlaghecken und Eimer (2002) waren der Meinung, dass zentrale Reize durch eine größere Wahrnehmungsstärke auch eine größere motorische Aktivierung auslösen, und dass der automatische Hemmungsprozess nur dann ausgeprägt ist, wenn auch die initiale Aktivierung groß ist.

Entgegen der Meinung von Eimer und Schlaghecken (2002) berichteten Lleras und Enns (2004) und Verleger et al. (2004), dass der inverse Bahnungseffekt nicht die unbewusste Reizverarbeitung widerspiegelt, sondern für die verwendete Kombination der Reize spezifisch ist, denn in früheren Studien über maskiertes Bahnen wurde dieser Effekt nicht beobachtet: Normalerweise wurden die Reaktionszeiten durch kongruente Reize beschleunigt statt verzögert (Cheesman und Merikle, 1984; Neumann und Klotz, 1994; Enns und DiLollo, 2000; Jaśkowski, Skalska und Verleger, 2003; Klotz und Neumann, 1999).

Während die Maske in den meisten Studien nur den Zweck erfüllen sollte, den Bahnungsreiz unsichtbar zu machen und speziell in den Studien von Eimer und Schlaghecken (1998, 2002; Schlaghecken und Eimer, 2002) dazu diente, dem der initialen Aktivierung folgenden Hemmungsprozess Zeit zur Entwicklung zu geben, vertraten Verleger et al. (2004) die Meinung, dass die Maske, die aus einem bestimmten Muster

besteht, selbst eine aktive Rolle spielt. Diese besteht laut Verleger et al. (2004) zum einen in der Funktion der effizienten Maskierung des Bahnungsreizes, so dass dieser nicht bewusst wahrgenommen werden kann, zum anderen aber auch in einer Interaktion zwischen der Maske und dem Bahnungsreiz. Da das Muster der Maske Elemente enthält, die dem maskierten Bahnungsreiz ähneln, kommt es zu Wechselwirkungen der Maske mit den vom Bahnungsreiz ausgelösten Verarbeitungsprozessen. Diese Interaktionen machten Verleger et al. (2004) für den inversen Bahnungseffekt verantwortlich.

Um ihre Behauptung zu belegen, verwendeten Verleger et al. (2004) in ihrem Versuch die gleichen Pfeilstimuli und die gleiche Pfeilmasken wie Eimer und Schlaghecken (1998), führten aber zusätzlich eine neue Maske ein, die aus kleinen Karos zusammengesetzte „Schachmaske“, die keine Pfeilelemente enthielt. Der Vergleich zwischen der Pfeil- und der Schachmaske ergab, dass ein inverser Bahnungseffekt nur mit der Pfeilmasken erzeugt werden konnte, nicht jedoch mit der Schachmaske. Verleger et al. (2004) erklärten den inversen Bahnungseffekt mit der Pfeilmasken folgendermaßen: Der Pfeil-Bahnungsreiz liefert dem visuellen System sozusagen die erste Hälfte der Pfeilmasken. Die unmittelbar folgende Maske, die aus der Überlagerung der beiden Pfeilpaare besteht, liefert sehr schnell die zweite Hälfte, die die erste überlagert. Laut Verleger et al. (2004) beeinflusst dieser schnelle Wechsel des sensorischen Eindruckes das motorische System insofern, als dass es zuerst zur motorischen Aktivierung einer Reaktion auf den Bahnungsreiz kommt und anschließend, dadurch ausgelöst, dass die Maske das Gegenstück des Bahnungsreizes liefert, die Gegenseite aktiviert wird. Die Aktivierung der Gegenseite könnte dann mit den Zeichen einer Hemmung auf der Seite des Bahnungsreizes einhergehen (Verleger et al., 2004).

Laut Verleger et al. (2004) ist somit auch die Diskriminierung des Bahnungsreizes mit der Pfeilmasken eine andere als mit der Schachmaske. Die Diskriminierung mit der Schachmaske hängt davon ab, wie sehr der Pfeil-Bahnungsreiz durch die Maske

durchscheint. Mit der Pfeilmaske hängt die Diskriminierung davon ab, inwieweit das visuelle System zeitlich differenzieren kann, ob zuerst die nach rechts oder nach links zeigende Hälfte der Maske erschien.

Dennoch konnte der inverse Bahnungseffekt in anderen Studien mit einer Linienmaske, die nicht aus Pfeilen bestand, nachgewiesen werden (Schlaghecken und Eimer, 2002; Eimer und Schlaghecken, 2002). Die Hypothese von Verleger et al. (2004), die davon ausgeht, dass der inverse Bahnungseffekt und damit der Hemmungsprozess streng stimulusspezifisch sind, wird dadurch in Frage gestellt. Allerdings enthält die erwähnte Linienmaske, verglichen mit der Schachmaske aus Verleger et al. (2004), mehr Elemente, die den Pfeil-Bahnungsreizen ähneln (z.B. Breite der Linien und Winkel der Linien zueinander). Somit könnte der inverse Bahnungseffekt unter anderem davon abhängig sein, inwieweit die Elemente der Maske mit denen des Bahnungsreizes übereinstimmen (Lleras und Enns, 2004; Jaskowski und Przekoracka, 2005).

Während sowohl Verleger et al. (2004) als auch Lleras und Enns (2004) den inversen Bahnungseffekt mit den Pfeilstimuli der Tatsache zuschrieben, dass die Pfeilmaske pfeilähnliche aufgabenrelevante Elemente enthielt, betonten Verleger et al. (2004) den pfeilähnlichen Charakter der Maske, während Lleras und Enns (2004) eher die Aufgabenrelevanz der Maske als Ursache des inversen Bahnungseffektes favorisierten.

Wie Verleger et al. (2004), bemerkten auch Lleras und Enns (2004), dass andere Autoren (Klapp und Hinkley, 2002; Eimer und Schlaghecken, 1998, 2002; Schlaghecken und Eimer, 2002; Aron et al., 2003) während ihrer Forschung über maskiertes Bahnen die Beziehung zwischen dem Bahnungsreiz und der Maske außer Acht ließen. Lleras und Enns (2004) waren der Meinung, dass die Interaktion zwischen dem visuellen Muster der Bahnungsreize (und Zielreize) und der Maske durchaus eine sehr wichtige Rolle im maskierten Bahnen spielt. Dabei teilte sich das Muster der Maske in allen bisher durchgeführten Studien über das maskierte Bahnen von Eimer und Schlaghecken (1998,



2002) und Klapp und Hinkley (2002) gleiche Merkmale mit den Pfeil-Bahnungsreizen. In keinem der Fälle wurde eine Maske eingesetzt, deren Muster sich vollkommen von dem Bahnungsreiz-Muster unterschied. Das lag daran, dass eine Maske, die aus den beiden Bahnungsreizen zusammengesetzt ist, den Bahnungsreiz auch sehr effizient maskiert. Lleras und Enns (2004) berichteten, dass genau diese scheinbar neutralen Masken selbst als stark wirksame Bahnungsreize agieren. Indem die Pfeilmasken beide Bahnungsreize in sich vereint, lösen die Elemente, die sie nicht mit dem vorhergehenden Bahnungsreiz teilt, einen positiven Bahnungsreizeffekt aus. Somit könnte der inverse Bahnungseffekt laut Lleras und Enns (2004) über den Objekt-Aktualisierungsprozess zustande kommen, was bedeutet, dass sich bei Änderung eines dynamischen visuellen Ereignisses die aktuell gesammelte Information in die existierende Repräsentation einer Szene integriert, bzw., dass die existierende Repräsentation bei Wechsel einer visuellen Szene durch die aktuellere Information ersetzt wird. Aufgrund der räumlich-zeitlichen Nähe von Bahnungsreiz und Maske könnten laut Lleras und Enns (2004) diese beiden Reize vom visuellen System als ein Reiz interpretiert werden. Somit könnte das Auftreten der Maske zur Aktualisierung der Änderung innerhalb eines Stimulus führen und dieser Aktualisierungsprozess den inversen Bahnungseffekt auslösen. Da sich Bahnungsreiz und Maske gleiche Merkmale teilen, werden nur die neuen Merkmale der Maske aktualisiert (das dem Bahnungsreiz gegensätzliche Pfeilpaar). Dieser Aktualisierungsprozess liefert die letzte Information, bevor der Zielreiz wahrgenommen wird, so dass die Merkmale der Maske, die dem Bahnungsreiz entgegengesetzt sind, das System am aktuellsten beeinflusst haben und somit den Bahnungsreizeffekt bestimmen (Lleras und Enns, 2004).

Um den Einfluss der aufgabenrelevanten Elemente der Maske auf den Bahnungsreizeffekt zu untersuchen, setzten Lleras und Enns (2004) in ihrer Studie neben der Pfeilmasken eine weitere Maske ein, die sich keine Merkmale mit den Bahnungsreizen teilte und somit nicht aufgabenrelevant war. Dennoch enthielt diese neue Maske die gleiche Anzahl und Dichte

an Linien wie die Pfeilmaske. Da sich ein signifikanter inverser Bahnungseffekt nur mit der aufgabenrelevanten Pfeilmaske erzielen ließ, bestätigte sich die Hypothese von Lleras und Enns (2004) bezüglich der Aufgabenrelevanz. Mit der neuen Maske, die sich keine Merkmale mit den Bahnungsreizen teilte, wurde genauso wenig ein inverser Bahnungseffekt erzielt wie ohne Maske. Beide Effekte interagierten nicht mit der bewussten und unbewussten Wahrnehmung des Bahnungsreizes. Dabei ließ sich bei der aufgabenrelevanten Maske sowohl bei schlechter (58 %) als auch bei guter (98 %) Sichtbarkeit des Bahnungsreizes ein inverser Bahnungseffekt nachweisen (Lleras und Enns, 2004). Aufgrund dieser Ergebnisse sprechen sich daher Lleras und Enns (2004) gegen die Hypothese der unbewussten Hemmung aus.

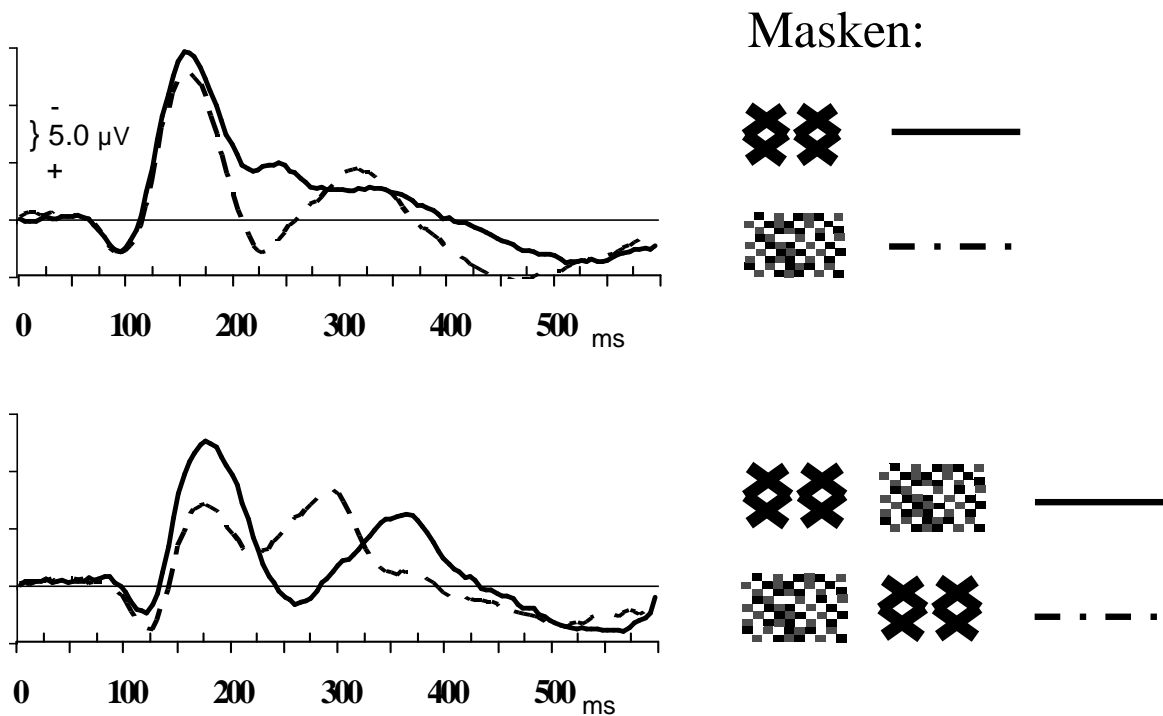
#### **1.4 Thema dieser Studie**

Verleger et al. (2004) bemerkten in ihren EEG-Ergebnissen einen Effekt, von dem bisher noch nicht berichtet wurde: An den Elektrodenpositionen über dem visuellen Kortex fiel ein deutlicher Unterschied zwischen den verschiedenen Masken auf. Die Maske, die aus Pfeilelementen bestand, löste eine größere Negativierung aus als andere Masken. Dieser Effekt wird hier und im Folgenden als „Nd-Maske“ bezeichnet (unterschiedliche Negativierung zwischen den Masken) und ist in Abbildung 1 dargestellt. Abgebildet sind die Mittelwerte der ERPs über der Elektrodenposition PO8, wo die Nd-Maske am signifikantesten war.

In Experiment 1 der Publikation von Verleger et al. (2004) (Abbildung 1, oberes Diagramm) begann die Nd-Maske etwa beim höchsten Punkt der N1, erreichte ihr Maximum bei 240 ms und wurde anschließend dadurch unterbrochen, dass in den Durchgängen, in denen die alternative Schachmaske präsentiert wurde, ein negativer Ausschlag vorkam. Zwischen 375 ms und 500 ms erschien die Nd-Maske erneut.

In Experiment 2 von Verleger et al. (2004) wurden zwischen einem Pfeil-Bahnungsreiz und einem Pfeil-Zielreiz aufeinander folgende Maskenpaare präsentiert: In wechselnder Reihenfolge für 50 ms die Pfeilmaske und für 50 ms die alternative Schachmaske. Dem unteren Diagramm von Abbildung 1 kann man entnehmen, dass das Aufeinanderfolgen der Masken getreu von den Unterschieden der Nd-Maske begleitet wird: Wurde die Pfeilmaske zuerst präsentiert, so war der erste Abschnitt der Kurve negativer als die restlichen, umgekehrt war der zweite Abschnitt der Kurve negativer, wenn die Pfeilmaske an zweiter Stelle erschien.

Das Ziel dieser Studie ist es, die Bestimmungsgrößen der Nd-Maske und ihre mögliche Beziehung zum inversen Bahnungseffekt zu untersuchen. An dieser Stelle ist zu bemerken, dass die Nd-Maske, die von den Masken hervorgerufen wird, der Verarbeitung des Zielreizes vorausgeht. Daher ist die Nd-Maske weitgehend unabhängig von den Wechselwirkungen zwischen Bahnungs- und Zielreizen. Anders als in den meisten vorherigen Studien über das maskierte Bahnen, die oben genannten Studien eingeschlossen, wird die Beziehung zwischen den Bahnungs- und Zielreizen (kongruent oder inkongruent) im Folgenden außer Acht gelassen. Der wichtigste Aspekt ist hier der Unterschied zwischen den verschiedenen Masken.



**Abbildung 1: Graphische Darstellung der gemittelten EEG-Potentiale aus den Experimenten 1 und 2 von Verleger et al. (2004)**

Die Werte (in Verleger et al. (2004) nicht beschrieben) wurden an der Elektrodenposition PO8 (hinten rechts), mit der Nase als Referenzpunkt, abgeleitet. Anschließend wurde das Mittel über Durchgänge mit nach rechts und nach links zeigenden Zielreizen und über Durchgänge mit identischen, neutralen und gegensätzlichen Bahnungsreizen gebildet, um den Unterschied zwischen den Masken herauszuarbeiten. Die Werte stammen von elf Versuchsteilnehmern in Experiment 1 (obere Graphik) und von 13 Versuchsteilnehmern in Experiment 2 (untere Graphik). Negative Spannungen ergeben einen Ausschlag nach oben. Die Bahnungsreize erschienen zum Zeitpunkt  $t_0$ , die Maske setzte bei 17 ms ein und der Zielreiz bei 117 ms.

*Obere Graphik:* Die durchgezogene Linie ist das Mittel über Durchgänge mit der Pfeilmaske, während die gestrichelte Linie das Mittel über Durchgänge mit der alternativen Schachmaske darstellt. Beide Masken wurden jeweils für 100 ms präsentiert.

*Untere Graphik:* Beide Masken wurden in randomisierter Folge unmittelbar nacheinander für jeweils 50 ms dargeboten. Die durchgezogene Linie ist das Mittel über die Durchgänge, in denen zuerst die Pfeilmaske präsentiert wurde, während die gestrichelte Linie das Mittel über die Durchgänge darstellt, in denen zuerst die Schachmaske dargeboten wurde.

Die folgenden drei Experimente dienen der näheren Untersuchung der Nd-Maske.

Ziel des ersten Experimentes war es, die Nd-Maske in ihrem zeitlichen Verlauf ohne durch nachfolgende Reize ausgelöste Unterbrechungen und Überlagerungen darzustellen. Dafür wurden in 50 % der Durchgänge die Zielreize weggelassen.

In den anderen beiden Experimenten sollten die Determinanten der Nd-Maske näher untersucht werden, genauer gesagt sollte unterschieden werden, ob die Nd-Maske von den physikalischen Unterschieden zwischen der Pfeilmaske und den anderen Masken oder von der Aufgabenrelevanz der Pfeile ausgelöst wird. Zu diesem Zweck wurden die Versuchsbedingungen systematisch variiert.

Des Weiteren wird sich in den folgenden Experimenten herausstellen, dass der inverse Bahnungseffekt auf die Reaktionszeiten bei den unterschiedlichen Bahnungsreiz-Masken-Kombinationen in unterschiedlicher Ausprägung erscheint. Aus diesem Grund wird zusätzlich überprüft, ob die Nd-Maske in irgendeiner Beziehung zum Ausmaß des inversen Bahnungseffektes steht und zur Erklärung dieses Phänomens beitragen kann.

## **2 EXPERIMENT 1**

### **2.1 Einleitung**

In den Versuchen von Verleger et al. (2004) folgte dem maskierten Pfeil-Bahnungsreiz immer ein Pfeil-Zielreiz, so dass sich aufgrund dessen der zeitliche Verlauf der Nd-Maske aus den in Abbildung 1 dargestellten Werten von Verleger et al. (2004) nicht eindeutig ableiten lässt. Durch die den Masken direkt folgenden Pfeil-Zielreize wurde die Nd-Maske von nachfolgenden EEG-Komponenten überlagert und möglicherweise auch durch Interaktionen zwischen den Masken und den Zielreizen modifiziert.

Das folgende Experiment 1 wurde mit dem Ziel durchgeführt, ein eindeutiges Bild des zeitlichen Verlaufes der Nd-Maske zu erhalten, das sich frei von Überlagerungen durch

nachfolgende Zielreize darstellt. Dazu wurde in 50 % der Durchgänge auf die Zielreize verzichtet.

Es wurde des Weiteren der Versuch unternommen, wenigstens einen Teil des physikalischen Unterschiedes zwischen der Maske, die Pfeilelemente enthält, und der Maske, die dies nicht tut, zu eliminieren. Da dieser Unterschied zu dem Unterschied der EEG-Potentiale beitragen könnte, wurde eine Nicht-Pfeil-Maske als ein Verbund aus horizontalen und vertikalen Linien konstruiert (Linienmaske).

## **2.2 Material und Methoden**

### **2.2.1 Versuchsteilnehmer**

An diesem Experiment nahmen 14 Studenten der Lübecker Universität teil, darunter fünf Frauen und neun Männer. Ihr Durchschnittsalter betrug  $24 \pm 2$  Jahre. Das Sehvermögen aller Teilnehmer war auf beiden Augen normal bzw. durch eine Brille oder Kontaktlinsen korrigiert. Neurologische Erkrankungen lagen bei keinem von ihnen vor, ebenso wurden weder regelmäßig noch am Tag der EEG-Aufnahme Medikamente eingenommen. Die Teilnehmer wurden in einer einzigen Sitzung à 50 Minuten getestet (plus eine halbe Stunde zur Vorbereitung der EEG-Aufnahme) und erhielten eine Bezahlung von 7 € pro Stunde. Über die Hypothesen war keiner der Versuchsteilnehmer informiert.

### **2.2.2 Versuchsaufbau**

Die Versuchspersonen saßen bei geschlossener Tür in einem abgedunkelten Raum auf einem gepolsterten Lehnstuhl vor einem 17''-Bildschirm mit einer Blickdistanz von 120 cm. Der Bildschirmhintergrund war weiß. Während des Versuches befand sich in der Bildschirmmitte ein kleines rotes Fixierkreuz. Der Bildschirm, der der Präsentation der

visuellen Stimuli diente, wurde von einer mit 70 Hz arbeitenden Graphikkarte betrieben. Bei der Hälfte der 14 Teilnehmer war diese Bildschirmwiederholfrequenz auf 60 Hz reduziert, davon bei drei Teilnehmern aufgrund eines technischen Fehlers und bei vier Teilnehmern mit der Absicht, zwei Untergruppen gleicher Größe zu gewinnen (insgesamt jeweils sieben Teilnehmer bei 70 Hz und sieben bei 60 Hz). Um per Tastendruck auf die visuellen Stimuli reagieren zu können, hatten die Teilnehmer während des Versuches eine Tastatur auf ihrem Schoß. Der linke Finger ruhte auf der unteren linken „ctrl“-Taste (Linksdruck) und der rechte Finger auf der „numpad-enter“-Taste (Rechtsdruck).

### **2.2.3 Stimuli und Versuchsdurchführung**

Die Aufgabe der Versuchsteilnehmer bestand darin, auf die dargebotenen visuellen Stimuli adäquat mit Rechts- oder Linksdruck auf der Tastatur zu reagieren.

#### Reaktion auf den Zielreiz:

Die visuellen Stimuli waren Bahnungsreize, Masken und Zielreize, die in jedem Versuchsdurchgang in der Mitte des Bildschirms präsentiert wurden. Jeder einzelne Durchgang begann mit einem Bahnungsreiz zum Zeitpunkt  $t_0$ , der für 14 ms bei 70 Hz bzw. für 17 ms bei 60 Hz dargeboten wurde. Dem Bahnungsreiz folgte unmittelbar die Maske, die für 100 ms präsentiert wurde, ebenso der direkt auf die Maske folgende Zielreiz (go-Durchgänge). Dieser Zielreiz erforderte eine adäquate Reaktion durch Rechts- oder Linksdruck auf der Tastatur. In 50 % der Durchgänge wurde jedoch kein Zielreiz präsentiert (no-go-Durchgänge), so dass in diesen Fällen keine Reaktion seitens der Versuchspersonen erforderlich war. Go- und no-go-Durchgänge wechselten sich in zufälliger Folge ab. Des Weiteren gab es zwei unterschiedliche Maskentypen (s.u.), die ebenfalls in zufälliger Reihenfolge dargeboten wurden. Für jede dieser vier Bedingungen

(go- und no-go-Durchgänge mit jeweils zwei Maskentypen) gab es 200 Durchgänge, insgesamt 800. Die Intervalle zwischen den Einzeldurchgängen beliefen sich nach einer richtigen Reaktion auf 0,8 s bzw. bei einer falschen oder ausbleibenden Reaktion auf 3 s.

Die Bahnungsreize und die Zielreize (s. Abbildung 2) wurden jeweils aus Paaren schwarzer, Pfeilköpfe symbolisierender, offener Dreiecke gebildet, wobei beide Reize des Paares immer in dieselbe Richtung zeigten, und zwar in zufälliger Reihenfolge mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 % entweder nach links (<<) oder nach rechts (>>). Das Zielreiz-Pfeilpaar der go-Durchgänge zeigte in zufälliger Folge entweder in die gleiche oder in die entgegengesetzte Richtung wie das Bahnungsreiz-Pfeilpaar. Neutrale Bahnungsreize wurden nicht verwendet.

Die Stimuli hatten ein schlankeres Design als diejenigen der Experimente von Verleger et al. (2004): Die Linien, die die Pfeile bildeten, waren weniger als 1 mm ( $0,05^\circ$ ) breit. Jeder einzelne Pfeilkopf war 1 cm ( $0,5^\circ$ ) breit und an seiner offenen Seite 2 cm ( $1^\circ$ ) hoch. Die beiden Pfeilköpfe standen eng zusammen (0,7 cm =  $0,35^\circ$  Distanz zwischen den parallelen Linien), wobei die Spitze des inneren Pfeils exakt auf das Fixierkreuz traf. Die Breite eines Pfeilkopfpaares betrug 1,7 cm ( $0,85^\circ$ ). Das den Fixierungspunkt bildende kleine rote Kreuz hatte eine Höhe und Breite von je 1,5 mm ( $0,07^\circ$ ).

Die Masken wurden von zwei unterschiedlichen Maskentypen gebildet, einer Pfeilmaske und einer Linienmaske. Die Pfeilmaske setzte sich aus vier Pfeilköpfen zusammen, die zwei in entgegengesetzte Richtung zeigende und einander überlagerte Bahnungsreizpaare (oder Zielreize) darstellten. Die Linienmaske bestand im Gegensatz dazu aus acht horizontalen und neun vertikalen Linien unterschiedlicher Länge und Position innerhalb eines imaginären Rechteckes mit einem Umriss von 23 x 23 mm ( $1,1 \times 1,1^\circ$ ). Es gab sechs unterschiedliche Versionen dieser Linienmaske, die vom Steuerprogramm in zufälliger Reihenfolge ausgewählt wurden, so dass die Teilnehmer die Bahnungsreize nicht aufgrund


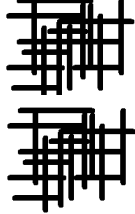



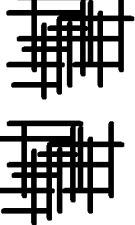



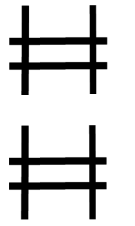




einer Regelmäßigkeit der Maske herausfiltern konnten (Schubö, Schlaghecken und Meinecke, 2001).

Diesem Teil des Versuches, der von den Versuchsteilnehmern unter Bestimmung der Reaktionszeit eine Reaktion auf den Zielreiz erforderte, folgte ein weiterer Versuchsteil, der der Erhebung der Bahnungsreiz-Diskriminierung diente:

#### Reaktion auf den Bahnungsreiz:

Es wurde überprüft, ob die Bahnungsreize tatsächlich nicht bewusst identifiziert werden können. In diesem Fall wurden nur die Bahnungsreize mit den unmittelbar darauf folgenden Masken ohne die Zielreize präsentiert. Hier ging es darum, per Tastendruck die Seite anzugeben, zu der der Pfeil-Bahnungsreiz vor der Maske zeigte (links oder rechts). Es gab 160 Durchgänge mit sich in zufälliger Reihenfolge abwechselnder Pfeil- und Linienmaske. Es wurde kein zeitliches Limit für die Reaktionen gesetzt, der nächste Durchgang begann 0,8 s nach einer Reaktion, egal ob diese richtig oder falsch war.

	Bahnungsreiz	Maske	Zielreiz
Exp.1		 oder 	
Exp.2		 oder 	
Exp.3		 oder 	

**Abbildung 2: Schematische Darstellung der in den drei Experimenten verwendeten Reize**

Von der Linienmaske, die in den Experimenten 1 und 2 verwendet wurde, gab es sechs unterschiedliche Versionen, die in randomisierter Folge präsentiert wurden.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind nur die jeweils zur rechten Seite zeigenden Bahnungs- und Zielreize dargestellt, obwohl diese eigentlich, nach rechts und nach links zeigend, unabhängig voneinander in randomisierter Folge präsentiert wurden.

#### 2.2.4 EEG

Für die EEG-Ableitung wurde das EEG-Ableithaubensystem „EASY-CAP“ verwendet.

##### Haube aufsetzen:

Als erstes wurde bei den Probanden die Strecke Nasion-Inion gemessen und die Mitte dieser Strecke mit einem Filzstift markiert. Anschließend wurde die Mitte der Strecke vom linken zum rechten präaurikulären Bezugspunkt markiert. An der Schnittstelle beider Markierungspunkte liegt die Position Cz. Nach der Ausmessung des Kopfumfangs wurde die nächst größere Haube von der Stirn her so nach hinten über den Kopf gestülpt, dass sich Cz in der korrekten Position befand. Anschließend wurde die Haube mit einem Kinnriemen unter leichter Zugspannung befestigt.

##### Elektrodenpositionen:

Das EEG wurde von 19 Positionen der Kopfhaube abgeleitet (F3, Fz, F4, FC3, FC4, C3, C1, Cz, C2, C4, P7, P3, Pz, P4, P8, PO7, PO8, O1, O2). Die Aufnahme des EOG (Elektrookulogramm zur Registrierung der durch Augenbewegungen ausgelösten Artefakte) erfolgte ober- und unterhalb des linken Auges (vertikales EOG) und an den äußeren Augenwinkeln (horizontales EOG). Die Erdungselektrode wurde über Fp2 und die Referenzelektrode auf der Nasenspitze angebracht.

##### Anbringen der Elektroden:

Für die EEG-Ableitung wurden Ag/AgCl-Elektroden (FMS, München) verwendet. Die Elektroden wurden an der Haube befestigt und die Kabel in die jeweils entsprechende Steckdose des Verstärkers eingesteckt. Die Elektroden waren ringförmig, so dass man mit einem Wattestäbchen die Haare der Versuchsperson zur Seite drängen konnte und die Kopfhaut frei lag. Diese wurde dann mit Hilfe des Wattestäbchens mit 70%iger

Alkohollösung gereinigt und entfettet. Mit einer 10 ml-Spritze wurden die Räume zwischen Haut und Elektrode vollständig mit abrasiver Elektrodenpaste aufgefüllt, die anschließend mit einem Wattestäbchen einmassiert wurde.

Die Stellen am Gesicht, die mit Elektroden beklebt wurden, wurden zuerst mit einem mit Alkohollösung getränkten Wattebausch gereinigt und entfettet. Die hEOG-Elektroden zur Messung der horizontalen Augenbewegungen wurden bei Geradeausblick des Versuchsteilnehmers auf Pupillenhöhe links und rechts vom Auge angeklebt. Die vEOG-Elektroden zur Messung der vertikalen Augenbewegungen wurden ober- und unterhalb des linken Auges befestigt, wieder auf Pupillenhöhe bei Geradeausblick. Die Elektrodenkabel der Gesichtselektroden, inklusive der Referenzelektrode auf der Nase, wurden in die entsprechenden Steckdosen gesteckt. In die Elektrodenhöhlen der Gesichtselektroden wurde Elektrodengel eingefüllt und in die Haut einmassiert.

#### EEG-Verarbeitung:

Das EEG und EOG wurden mit einem EEG-Verstärker (BrainAmp MR plus, Fa. MES, München) im Bereich von 0 Hz bis 250 Hz verstärkt und mit 2500 Hz pro Kanal gespeichert. Offline wurden alle Frequenzen über 30 Hz herausgefiltert und die Daten auf eine Abtastrate von 250 Hz reduziert.

Von 100 ms vor Einsetzen des Bahnungsreizes bis 1000 ms danach wurden die Daten segmentiert und auf Artefakte überprüft (Ausschluss von Durchgängen mit Nulllinien, Korrektur der okulären Artefakte mit der in der Brain-Analyser-Software integrierten linearen Regressionsmethode und Ausschluss der Durchgänge mit Spannungsdifferenzen von mehr als 200  $\mu\text{V}$  oder Spannungssprüngen von mehr als 20  $\mu\text{V}$ ). Um ERPs zu erhalten, wurden die Daten der artefaktfreien Durchgänge, in denen richtig reagiert wurde, separat für jede einzelne Bedingung und jeden Teilnehmer gemittelt. Zur

Veranschaulichung der Ergebnisse wurden die Mittelwerte der ERPs aller Teilnehmer berechnet.

### **2.3 Datenanalyse**

Der am meisten interessierende Parameter war der Unterschied zwischen der von der Pfeilmaske und der Linienmaske im EEG hervorgerufenen Negativierung, die es in ihrer reinen Form ohne störende Überlagerungen in den no-go-Durchgängen darzustellen galt. Um sie zu quantifizieren, wurden von zwölf aufeinander folgenden 50 ms-Abschnitten die durchschnittlichen Amplituden gebildet. Der erste Abschnitt begann zum Zeitpunkt  $t_0$  beim Einsetzen des Bahnungsreizes, der letzte 50 ms-Abschnitt endete 600 ms nach Beginn des Bahnungsreizes.

Als Grundlinie wurde die mittlere Amplitude des 100 ms-Intervalls vor Einsetzen des Bahnungsreizes subtrahiert. Die Amplituden der Elektrodenpositionen PO7 und PO8 (wo der Effekt am größten war) wurden in den no-go-Durchgängen separat für jeden 50 ms-Abschnitt mit einer Varianzanalyse auf signifikante Effekte der Faktoren Maske (Pfeile vs. Linien), Hemisphäre (rechts vs. links) und Bildschirmwiederholffrequenz (60 Hz vs. 70 Hz) getestet.

Für die Analyse des Verhaltens (Reaktionszeiten und Fehlerquoten) wurden in den go-Durchgängen für die richtigen Reaktionen die mittleren Latenzen der Reaktionszeiten gemessen, bezogen auf den Beginn des Zielreizes (die ersten vier Durchgänge wurden als Aufwärmphase gewertet und weggelassen) und separat mit den Faktoren Maske, Bahnungsreiz und Bildschirmwiederholffrequenz in eine Varianzanalyse eingegeben. Auf die gleiche Weise wurden für beide Maskentypen in den go-Durchgängen die Prozentsätze der falschen und fehlenden Reaktionen auf die Zielreize analysiert, ebenso in den no-go-Durchgängen die Prozentsätze der irrtümlichen Reaktionen.

Die Fähigkeit der Teilnehmer, die Bahnungsreize zu erkennen, wurde anhand der Prozentsätze richtiger Reaktionen in der Aufgabe der Reaktion auf den Bahnungsreiz für jede Maske separat ermittelt und mit einer Varianzanalyse auf Effekte der Faktoren Maske (Pfeile vs. Linien) und Bildschirmwiederholfrequenz (60 Hz vs. 70 Hz) getestet.

## **2.4 Ergebnisse**

### **2.4.1 EEG-Potentiale**

In Abbildung 3 sind die Mittelwerte aller ERPs der Ableitungen von den vorderen, mittleren und hinteren Positionen an der Mittellinie (Fz, Cz, Pz) und vom seitlichen Hinterkopf (P7, O1 auf der linken Seite der Abbildung, PO8 auf der rechten Seite) dargestellt. Fz, Cz und Pz gelten als Standardpositionen bei der Erhebung von ERP-Ergebnissen, während P7, O1 und PO8 (über dem visuellen Kortex gelegen) relevante Elektrodenpositionen bei der Verarbeitung visueller Stimulation darstellen.

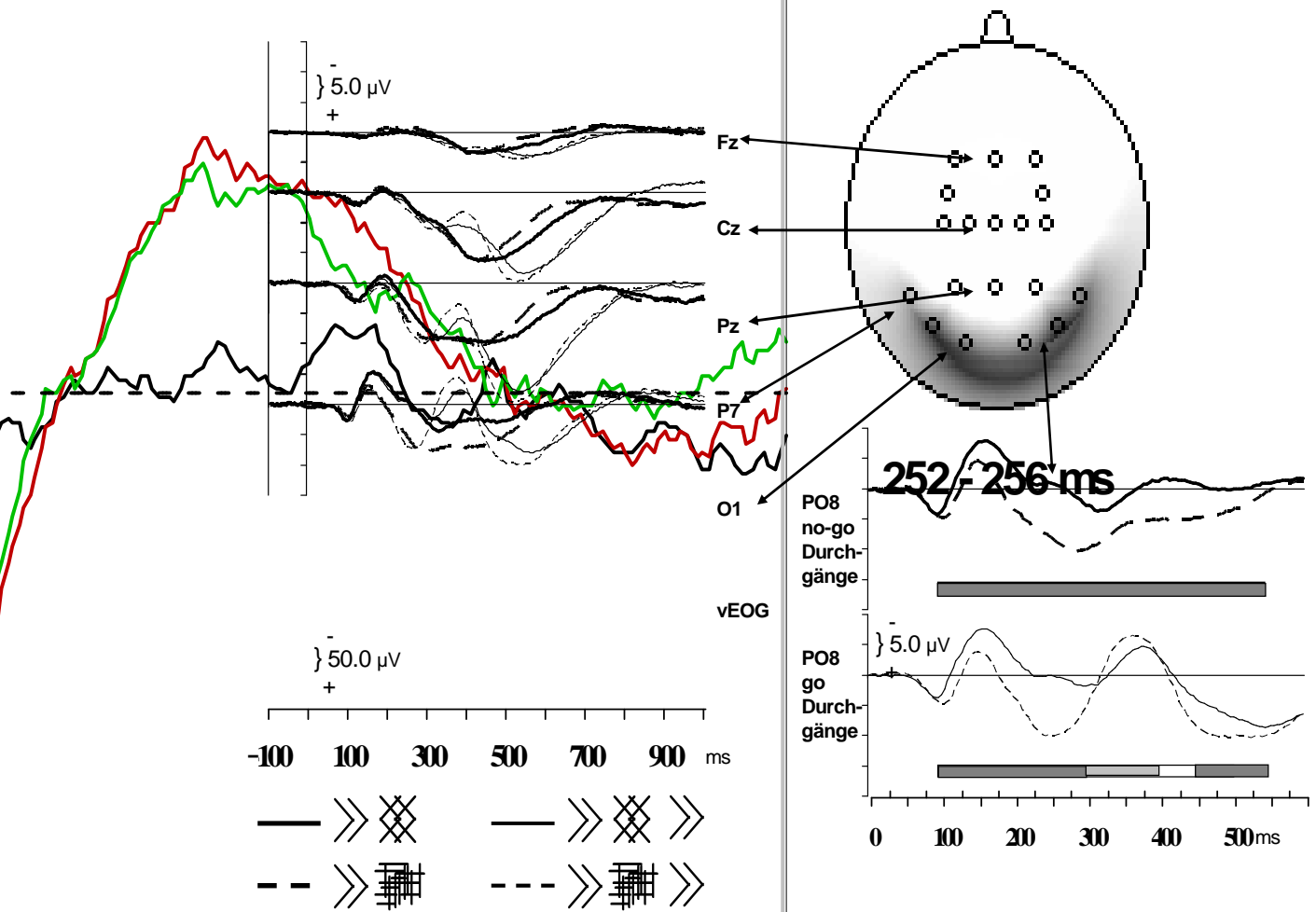
Das Einsetzen der Sequenz Bahnungsreiz – Maske – Zielreiz löste ein visuell evoziertes Potential aus. Dieses bestand an den hinteren Elektrodenpositionen (hier dargestellt: P7, O1 und PO8) aus einem positiven (abwärts) Ausschlag – der P1-Komponente –, der seinen höchsten Wert 100 ms nach Beginn des Bahnungsreizes erreichte, und einem negativen (aufwärts) Ausschlag – der N1-Komponente – mit höchstem Wert bei 150 ms. Etwa am höchsten Punkt der P1-Komponente wurde an den hinteren EEG-Elektrodenpositionen ein Unterschied zwischen den Masken sichtbar. Hierbei kam es mit der Pfeilmaske zu einer stärkeren Negativierung als mit der Linienmaske. Diese unterschiedliche Negativierung zwischen den beiden Maskentypen – hier und im folgenden als „Nd-Maske“ bezeichnet – erreichte ihr Maximum bei etwa 240 ms und wurde an den hinteren seitlichen Elektrodenpositionen PO7 und PO8 (s. Abb.3) besonders deutlich. In den go-Durchgängen erschien etwa 300 ms nach Einsetzen des Bahnungsreizes ein negativer Ausschlag, die N2-

Komponente, der mit der Linienmaske zwischen 300 ms und 400 ms größer war als mit der Pfeilmaske. Diesem negativen Ausschlag folgte die P3-Komponente.

Der dargestellte zeitliche Verlauf des vertikalen EOG zeigt, dass die Nd-Maske nicht mit Augenbewegungen zusammenhing und daher sicherlich kein Artefakt unzureichend aus dem EEG entfernter EOG-Potentiale war, denn meistens blinzelten die Teilnehmer erst nach 500 bis 600 ms. Das Blinzeln, das wahrscheinlich jeweils den subjektiven Abschluss eines Durchganges widerspiegelte (Stern, Walrath und Goldstein, 1984), trat somit zu spät auf, um die Nd-Maske, die immer bei 100 ms einsetzte, beeinflussen zu können.

Für die statistische Analyse der Unterschiede zwischen den Masken wurden von den Elektrodenpositionen PO7 und PO8, im Bereich von 105 bis 550 ms nach Einsetzen des Bahnungsreizes, Zeitfenster mit einer Länge von jeweils 50 ms quantifiziert. Die Abschnitte, die signifikante Unterschiede aufwiesen, sind in Abbildung 3 anhand der grauen Balken dargestellt.

In den no-go-Durchgängen wurde die Nd-Maske, die bei 100 ms begann und bei 550 ms endete, nicht von nachfolgenden Komponenten eines Zielreizes unterbrochen. Die  $F(1,12)$ -Werte für den Effekt des Faktors Maske in jedem dieser neun 50 ms-Zeitfenster lagen zwischen 13,3 und 99,2,  $p < 0,004$ , und die Amplituden der Nd-Maske reichten von  $2 \mu V$  bei ihrem Einsetzen (100–150 ms) bis  $8 \mu V$  (250–300 ms). Zu ihrem Beginn trat die Nd-Maske an der rechten Hemisphäre etwas deutlicher in Erscheinung (Maske x Hemisphäre bei 100–150 ms:  $F(1,12) = 9,2$ ,  $p = 0,01$ ).



**Abbildung 3: Übersicht über die gemittelten EEG-Potentiale in Experiment 1**

Die linke Hälfte der Abbildung verschafft einen Überblick über die gemittelten EEG-Potentiale verschiedener Elektrodenpositionen für go- und no-go-Durchgänge jeweils mit der Pfeil- und der Linienmaske. Die durchgezogenen Linien kennzeichnen die Durchgänge mit der Pfeilmaske, die gestrichelten Linien die Durchgänge mit den Linienmasken. Breite Linien stellen die Durchgänge ohne Zielreiz dar (no-go-Durchgänge), dünne Linien hingegen die Durchgänge mit Zielreiz (go-Durchgänge) (gemittelt über Durchgänge mit identischen und gegensätzlichen Bahnungsreizen). Der Zeitpunkt  $t_0$  kennzeichnet das Einsetzen des Bahnungsreizes, bei 14 ms (bzw. 17 ms) erschien die Maske und bei 114 ms (oder 117 ms) der Zielreiz. vEOG = vertikales Elektrookulogramm.

In der Abbildung wird besonders bei 250 ms die topographische Verteilung des Unterschiedes zwischen der Pfeilmaske und der Linienmaske (Nd-Maske) deutlich. Der Kopf im rechten oberen Viertel der Abbildung ist mit der Aufsicht von oben dargestellt mit einer Skala von 0 µV (weiß) bis 10 µV (schwarz). Die weißen Kreise markieren die Elektrodenpositionen. Die untere rechte Abbildung stellt die interessierenden Effekte der Elektrodenposition PO8 dar (wo die Nd-Maske am größten war). Durchgezogene, gestrichelte, dünne und dicke Linien haben hier die gleiche Bedeutung wie auf der linken Hälfte der Abbildung. Von 100 ms bis 550 ms wurden neun Abschnitte à 50 ms analysiert. Die Signifikanz der Maskeneffekte wird mittels unterschiedlicher Graustufung der horizontalen Balken dargestellt (dunkelgrau: signifikanter Effekt, weiß: keine Signifikanz, hellgrau: umgekehrter Effekt). (In den meisten 50 ms-Abschnitten waren die Effekte signifikant, mit Ausnahme eines kurzen Intervalls von 400 bis 450 ms in den go-Durchgängen).



In go-Durchgängen begann die Nd-Maske ebenso bei 100 ms und wurde bei 300–400 ms unterbrochen. Bei 400–450 ms begann sie erneut zu erscheinen und wurde zwischen 450–550 ms wieder signifikant.  $F(1,12)$ -Werte für die ersten vier Fenster, 100–300 ms, lagen zwischen 17,9 und 137,9;  $p < 0,001$ , mit mittleren Amplituden zwischen  $3 \mu\text{V}$  und  $8 \mu\text{V}$ . In den letzten drei Fenstern, 400–550 ms, schwankte  $F(1,12)$  zwischen 4,5,  $p = 0,06$ , und 42,3,  $p < 0,001$ , mit mittleren Amplituden zwischen  $2 \mu\text{V}$  und  $5 \mu\text{V}$ . Wie auch in den no-go-Durchgängen trat die Nd-Maske zu Beginn in der rechten Hemisphäre deutlicher hervor (Maske x Hemisphäre bei 100–150 ms:  $F(1,12) = 5,5$ ,  $p = 0,04$ ), und umgekehrt trat sie am Ende in der linken Hemisphäre deutlicher in Erscheinung (Maske x Hemisphäre bei 500–550 ms:  $F(1,12) = 7,6$ ,  $p = 0,02$ ). Im Übrigen war die Nd-Maske bei identischen Ziel- und Bahnungsreizen etwas größer, bei 250–300 ms und bei 450–550 ms (Bahnungsreiz x Maske:  $F(1,12)$  zwischen 8,5,  $p = 0,01$ , und 17,3,  $p = 0,001$ ).

Während der Unterbrechung der Nd-Maske von 300 ms bis 400 ms war die negative Amplitude in den Linienmaskendurchgängen größer als in den Pfeilmaskendurchgängen  $F(1,12) \geq 5,1$ ,  $p \leq 0,04$ .

Effekte der Bildschirmwiederholffrequenz fanden sich in no-go- und go-Durchgängen jeweils in einem von den zwölf in jeder Bedingung analysierten 50 ms-Intervallen: In den no-go-Durchgängen fiel die Negativierung bei 50–100 ms in der 70 Hz-Gruppe bei PO7 mit der Pfeilmaske niedriger aus als mit der Linienmaske (Maske x Hemisphäre x Gruppe,  $F(1,12) = 6,5$ ,  $p = 0,03$ ). Da dieser Effekt zu früh eintrat (die Nd-Maske beginnt erst bei 100 ms), wurde er Zufallseffekten zugeschrieben. In den go-Durchgängen war die Nd-Maske im 250–300 ms-Intervall bei der 60 Hz-Gruppe größer als bei der 70 Hz-Gruppe ( $10 \mu\text{V}$  vs.  $6 \mu\text{V}$ ; Gruppe x Maske:  $F(1,12) = 8,0$ ,  $p = 0,02$ ).

#### 4.2.2 Verhalten

##### Reaktionszeiten:

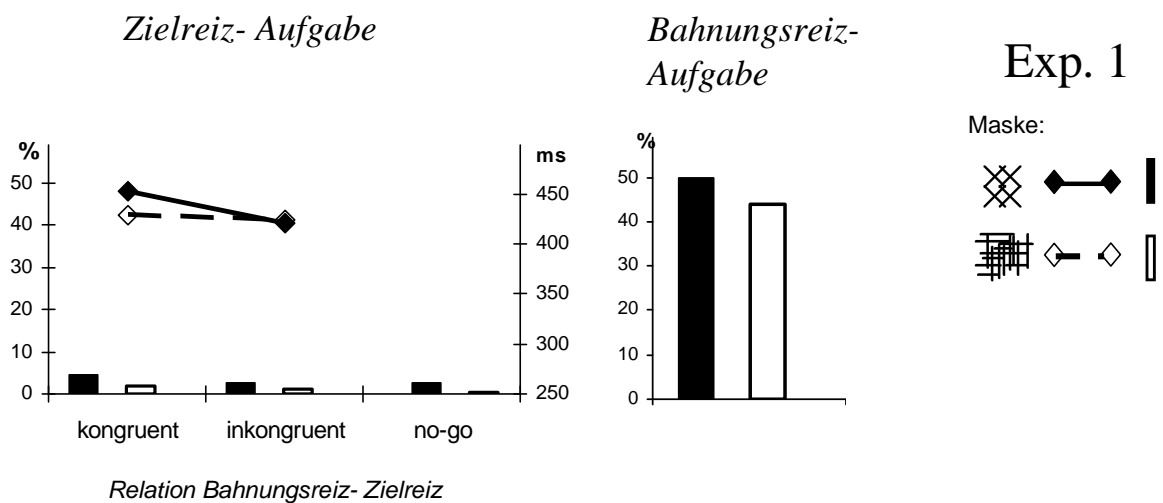
Wie in Abbildung 4 dargestellt, erfolgten die Reaktionen bei kongruenten Bahnungs- und Zielreizen am langsamsten, wenn der Bahnungsreiz von der Pfeilmaske maskiert wurde (Maske:  $F(1,12) = 11,9$ ,  $p = 0,005$ ; Maske x Bahnungsreiz:  $F(1,12) = 26,5$ ,  $p < 0.001$ ). Diese Maske x Bahnungsreiz-Interaktion zeigt, dass maskierte Pfeile wie schon in vorherigen Arbeiten mit der Pfeilmaske inverse Bahnungseffekte auf die Reaktionszeiten auslösten ( $F(1,12) = 56,6$ ,  $p < 0,001$ ), sich dieser Effekt jedoch nicht mit der Linienmaske reproduzieren ließ ( $F(1,12) = 2,3$ ,  $p = 0,15$ ).

Der inverse Bahnungseffekt war bei einer Bildschirmwiederholffrequenz von 60 Hz größer als bei 70 Hz (Gruppe x Bahnungsreiz:  $F(1,12) = 5,1$ ,  $p = 0,007$ ), ungeachtet der Maske (Gruppe x Bahnungsreiz x Maske:  $F(1,12) = 0,2$ , n.s.; 42 ms vs. 24 ms mit der Pfeilmaske, 12 ms vs. -1 ms mit der Linienmaske).

##### Fehler:

*Reaktion auf den Zielreiz* (Säulen in Abbildung 4): Mit der Pfeilmaske wurden mehr Fehler gemacht als mit der Linienmaske, sowohl in den go-Durchgängen (Maske:  $F(1,12) = 7,9$ ,  $p = 0,002$ ) als auch als irrtümliche Reaktionen in den no-go-Durchgängen ( $F(1,12) = 3,8$ ,  $p = 0,07$ ). Zusätzlich wurden in den go-Durchgängen bei kongruenten Bahnungs- und Zielreizen mehr Fehler gemacht als bei inkongruenten ( $F(1,12) = 6,9$ ,  $p = 0,02$ ). Dieser Effekt zeigte keine Unterschiede zwischen der 60 Hz- und der 70 Hz-Gruppe.

*Reaktion auf den Bahnungsreiz:* Die Bahnungsreize wurden mit der Pfeilmaske in 50 % ( $\pm 0,05$ ) und mit der Linienmaske in 44 % ( $\pm 0,12$ ) der Durchgänge falsch identifiziert. Somit zeigte sich die Tendenz zu einer besseren Identifizierung der Bahnungsreize, wenn diesen die Linienmaske folgte (Maske:  $F(1,12) = 4,4$ ,  $p = 0,06$ ). Dies schien vor allem bei der Bildschirmwiederholffrequenz von 60 Hz der Fall zu sein (nur 38 % falsche Reaktionen, vs. 50 % bei 70 Hz). Die Effekte der Bildschirmwiederholffrequenz wurden jedoch nicht signifikant.



#### Abbildung 4: Reaktionszeiten und Fehler in Experiment 1

Dargestellt sind die Mittelwerte über alle Teilnehmer. Die durchgezogene Linie und die schwarzen Säulen sind die Mittel über Durchgänge mit der Pfeilmaske, die gestrichelte Linie und die weißen Säulen über Durchgänge mit der Linienmaske. Die Linien kennzeichnen die Reaktionszeiten, bezogen auf die rechte y-Achse, die Säulen präsentieren die Fehler, bezogen auf die linke y-Achse.

## 2.5 Diskussion

Die in Verleger et al. (2004) zufällig entdeckte, als Nd-Maske bezeichnete unterschiedliche Negativierung zwischen den Masken wurde hier reproduziert: Bestand die Maske aus Pfeilelementen, so wurde im ERP an hinteren Elektrodenpositionen eine größere anhaltende Negativierung sichtbar als mit der Linienmaske. Indem man den Zielreiz wegließ, der der Maske in diesem Paradigma üblicherweise folgte, konnte die Nd-Maske in ihrem zeitlichen Verlauf von 100 ms bis 550 ms nach Einsetzen der Maske ohne störende Überlagerungen dargestellt werden.

Die Verhaltensergebnisse lassen erkennen, dass das hier verwendete Paradigma die mit den gleichen Reizen in vorherigen Arbeiten gefundenen Ergebnisse reproduziert: Mit der Pfeilmasken waren die Reaktionszeiten verzögert und die Fehlerrate erhöht, wenn Bahnungs- und Zielreize kongruent waren (inverser Bahnungseffekt).

Bestand die Maske jedoch aus horizontalen und vertikalen Linien, wurde der inverse Bahnungseffekt, ähnlich wie bei Lleras und Enns (2004) und Verleger et al. (2004), nicht signifikant. Entgegen der Meinung von Verleger et al. (2004), die diesen Effekt auf die spezielle Rolle der Pfeilreize zurückführten, könnte er laut Schlaghecken und Eimer (2002) auch die Folge einer niedrigeren Maskierungsleistung der Linienmaske sein.

In den Verhaltensergebnissen machte sich ein weiterer Effekt bemerkbar: Bei einer Bildschirmwiederholfrequenz von 60 Hz war der inverse Bahnungseffekt auf die Reaktionszeiten ausgeprägter als bei 70 Hz (bei 60 Hz wurden die Bahnungsreize für 3 ms kürzer dargeboten als bei 70 Hz).

### **3 EXPERIMENT 2**

#### **3.1 Einleitung**

Das Ziel dieses Experimentes bestand darin, zwei Faktoren zu beeinflussen, die für die maskenabhängige unterschiedliche Negativierung, die Nd-Maske, verantwortlich sein könnten. Dabei handelt es sich zum einen um den exogenen Faktor des physikalischen Unterschiedes zwischen der Pfeilmaske und der Linienmaske und zum anderen um den endogenen Faktor der unterschiedlichen Aufgabenrelevanz der Masken. Aufgrund der Tatsache, dass in Verleger et al. (2004) und im obigen Experiment 1 die Pfeilmaske aus der Überlagerung beider Pfeilpaare der Bahnungsreize (Zielreize) bestand, enthielt die Pfeilmaske im Gegensatz zur Linienmaske immer die Elemente des Bahnungs- und Zielreizes. Somit bestand bezüglich der Aufgabenrelevanz ein Ungleichgewicht zwischen der Pfeilmaske und der Linienmaske.

Um den Einfluss des physikalischen Unterschiedes der Masken zu untersuchen, mussten die endogenen Einflüsse weitestgehend eliminiert werden. Zu diesem Zweck wurden in einer Masken-Reaktions-Aufgabe nur die Pfeilmaske und die Linienmaske, ohne Bahnungs- und Zielreize, in Zufallsfolge präsentiert. Da keine der Masken mit anderen Reizen kombiniert wurde und beide die gleichen Anforderungen an die Versuchsteilnehmer stellten, unterschieden sich die Masken somit nicht in ihrer Aufgabenrelevanz. Würden die Masken dennoch eine unterschiedliche Negativierung im EEG auslösen, so sollte dieser Unterschied nur aufgrund exogener Faktoren zustande kommen.

Um das Ungleichgewicht bezüglich der Aufgabenrelevanz zwischen den Masken zu eliminieren, wurde ein weiterer Bahnungsreiz/Zielreiz konstruiert, der aus horizontalen und vertikalen Linien aufgebaut war und sich mit der Linienmaske Elemente teilte (Abbildung 2). Da es nun einen Block mit Pfeilen (Pfeil-Block) und einen Block mit Linien (Linien-Block) als relevante Bahnungs- und Zielreize gab, die sich Merkmale mit

der Pfeilmaske bzw. Merkmale mit der Linienmaske teilten, variierte die implizite Relevanz der Masken zwischen den Einzeldurchgängen. Demnach sollte die Nd-Maske, falls sie in den vorherigen Experimenten ausschließlich aufgrund der Aufgabenrelevanz der Pfeilelemente zustande kam, jetzt auch umgekehrt im Linien-Block von der Linienmaske stärker hervorgerufen werden als von der Pfeilmaske.

## **3.2 Material und Methoden**

### **3.2.1 Versuchsteilnehmer**

An diesem Experiment nahmen zwölf Versuchspersonen teil, darunter neun Männer und drei Frauen. Ihr Durchschnittsalter betrug  $24 \pm 3$  Jahre. Die Teilnehmer waren wieder Studenten der Lübecker Universität, die in einer einzigen Sitzung über eine Stunde getestet (plus 1/2 Stunde für die Vorbereitung der EEG-Aufnahme) und für ihre Mitarbeit eine Bezahlung von 7 € pro Stunde erhielten. Keiner dieser zwölf Teilnehmer musste von der Auswertung ausgeschlossen werden. Bei keinem lagen neurologische Erkrankungen vor, Medikamente wurden nicht eingenommen. Die Versuchsteilnehmer waren nicht über die Hypothesen informiert.

### **3.2.2 Versuchsaufbau**

Wieder saßen die Versuchsteilnehmer in einem abgedunkelten Raum vor einem 17“-Bildschirm mit einer Blickdistanz von 120 cm. Vor dem weißen Bildschirmhintergrund befand sich in der Bildschirmmitte ein kleines rotes Fixierkreuz. Der Bildschirm diente auch hier der Präsentation der visuellen Stimuli, wurde allerdings, anders als in Experiment 1, von einer mit 75 Hz arbeitenden Graphikkarte betrieben. Diese höhere Bildschirmwiederholfrequenz wurde gewählt, um die Bahnungsreize noch kürzer zu

präsentieren und damit die Möglichkeit der bewussten Wahrnehmung der Bahnungsreize weiter zu reduzieren.

Auf der Tastatur, die die Teilnehmer auf ihrem Schoß hatten, reagierten sie mit Rechtsdruck („numpad-enter“-Taste) und Linksdruck („ctrl“-Taste) auf die dargebotenen visuellen Reize.

### **3.2.3 Stimuli und Versuchsdurchführung**

Wie in Experiment 1 bestand die Aufgabe der Versuchsteilnehmer darin, adäquat mit Rechts- oder Linksdruck auf der Tastatur auf die dargebotenen visuellen Reize zu reagieren.

Bahnungsreize, Masken und Zielreize wurden in der Mitte des Bildschirms präsentiert, wobei der Bahnungsreiz für 13 ms, die unmittelbar folgende Maske für 107 ms und der direkt folgende Zielreiz für weitere 107 ms dargeboten wurden. Die Abfolge der drei Aufgaben der experimentellen Sitzung geschah bei allen Teilnehmern in der gleichen Reihenfolge: Zielreiz-Reaktions-Aufgabe – Masken-Reaktions-Aufgabe – Bahnungsreiz-Reaktions-Aufgabe.

*Reaktion auf den Zielreiz:* Es sollte jeweils unter Messung der Reaktionszeit nach Abfolge der drei Reize – Bahnungsreiz, Maske und Zielreiz – auf den Zielreiz reagiert werden. Anders als in Experiment 1 gab es keine no-go-Durchgänge, d.h. keine Durchgänge ohne den Zielreiz.

*Reaktion auf die Maske:* Diese Aufgabe diente als Vergleichsbedingung. In Zufallsfolge wurden nur die Masken präsentiert, und zwar jeweils nur eine, auf die als imperativer Stimulus mit Tastendruck in vorher festgelegter Weise reagiert werden musste (sechs Probanden reagierten auf die Pfeilmaske per Linksdruck auf der Tastatur und auf die Linienmaske per Rechtsdruck, umgekehrt bei den anderen sechs Teilnehmern).

*Reaktion auf den Bahnungsreiz:* Diese Aufgabe diente der Erhebung der Diskriminierung der Bahnungsreize. Unter Weglassung der Zielreize wurde nur die Sequenz Bahnungsreiz → Maske präsentiert, wobei die Teilnehmer nach Darbietung beider Reize mit Rechts- oder Linksdruck auf der Tastatur auf den Bahnungsreiz reagieren sollten. In diesem Abschnitt wurde wie in Experiment 1 überprüft, ob die Bahnungsreize tatsächlich nicht bewusst identifiziert werden können.

Wie in Experiment 1 wurden auch hier die Pfeilmaske und die Linienmaske verwendet, wobei es von der Linienmaske wieder sechs Exemplare gab, die in zufälliger Reihenfolge ausgewählt wurden. Die Bahnungs- und Zielreize zeigten in Zufallsfolge entweder zur linken oder zur rechten Seite, wobei sich die Zielreize, ebenfalls in Zufallsfolge, entweder kongruent oder inkongruent zu den Bahnungsreizen verhielten. Als Bahnungs- und Zielreize wurden im Pfeil-Block die gleichen Pfeilpaare wie in Experiment 1 eingesetzt. Zusätzlich gab es für den Linien-Block einen neuen Bahnungs-/ Zielreiz, den Linien-Stimulus (Abbildung 2), der aus zwei horizontalen und einer vertikalen Linie bestand. Die Linien hatten eine Länge von 2,2 cm ( $1.1^\circ$ ) und eine Breite von 2 mm ( $0.1^\circ$ ). Die beiden parallelen horizontalen Linien standen im Abstand von 0,75 cm ( $0.4^\circ$ ) zueinander. Die vertikale Linie war von der Mitte ausgehend um 0,75 cm ( $0.4^\circ$ ) entweder zur linken oder zur rechten Seite verschoben.

Bahnungs- und Zielreize waren in einem Block der Zielreiz-Reaktions-Aufgabe Pfeile und in dem anderen Linien, ebenso die Bahnungsreize in der Bahnungsreiz-Reaktions-Aufgabe. Die Reihenfolge der Pfeil- und Linien-Blöcke wechselte in Zufallsfolge zwischen den Teilnehmern, war aber für den einzelnen Teilnehmer für die Zielreiz- und Bahnungsreiz-Reaktions-Aufgabe die gleiche.

Jeder Block der Zielreiz-Reaktions-Aufgabe bestand aus 320 Durchgängen, jeder Block der Bahnungsreiz-Reaktions-Aufgabe aus 160 Durchgängen und die Masken-Reaktions-



Aufgabe, in der Mitte zwischen Zielreiz-Reaktions- und Bahnungsreiz-Reaktions-Aufgabe, bestand aus 80 Durchgängen.

Ursprünglich gab es noch in jeder Aufgabe einen weiteren Block, in dem „orthogonale“ Pfeile als Bahnungs- und Zielreize eingesetzt wurden (diese bestanden aus horizontalen und vertikalen Linien, die entweder in die rechte oder linke obere Ecke zeigten). Da aber die Maskierung in dieser Bedingung unzureichend war, werden die Ergebnisse nicht berichtet.

### **3.2.4 EEG**

Die Methoden waren mit Ausnahme eines kleineren und eines größeren Unterschiedes im Wesentlichen die gleichen wie in Experiment 1. Der kleinere Unterschied bestand darin, dass die Abtastfrequenz bereits bei der Aufzeichnung auf 250 Hz reduziert war. Der größere Unterschied war, dass die EEG-Potentiale nicht nur in der Zielreiz-Reaktions-Aufgabe aufgenommen und analysiert wurden, sondern auch in der Bahnungsreiz-Reaktions-Aufgabe. Somit ergab sich eine weitere Möglichkeit, die Reliabilität der untersuchten Effekte der Masken-evozierten Negativierung zu überprüfen.

### **3.3 Datenanalyse**

Zur Quantifizierung der Nd-Maske wurden wieder, beginnend beim Einsetzen des ersten Stimulus bis 600 ms danach, von den Elektrodenpositionen PO7 und PO8 die mittleren Amplituden benachbarter Zeitabschnitte gebildet. Um zu einer besseren zeitlichen Auflösung zu gelangen, wurden die einzelnen Abschnitte in den ersten 150 ms auf eine Länge von 25 ms gekürzt und waren erst im Bereich von 150–600 ms 50 ms lang. Für die mittleren Amplituden wurde separat für jeden Zeitabschnitt mit den Faktoren Maske

(Pfeile vs. Linien) und Hemisphäre (rechts vs. links) eine Varianzanalyse durchgeführt, und zwar für alle fünf Blöcke, d.h. für die Pfeil- und Linien-Blöcke der Zielreiz- und Bahnungsreiz-Reaktions-Aufgabe und für die Masken-Reaktions-Aufgabe. Die Richtung des Bahnungsreizes (kongruent vs. inkongruent zum Zielreiz) stellte einen weiteren Faktor in der Zielreiz-Reaktions-Aufgabe dar, ist aber für den gegenwärtigen Zusammenhang nicht von Interesse, so dass die Ergebnisse dieses Faktors nicht geschildert werden.

In der Varianzanalyse wurde des Weiteren der Maskeneffekt aus der Masken-Reaktions-Aufgabe als der Vergleichsbedingung mit dem Maskeneffekt jeder der vier anderen Blöcke verglichen. In diesen vier Varianzanalysen stellte jeweils die Interaktion Maske x Block den interessierenden Effekt dar.

Die Analyse des Verhaltens (Reaktionszeiten und Fehlerquote) wurde wie in Experiment 1 durchgeführt.

## **3.4 Ergebnisse**

### **3.4.1 EEG**

Die Abbildung 5 zeigt für alle fünf Blöcke die Mittelwerte der ERPs aller Teilnehmer, abgeleitet von der Elektrodenposition PO8. Die Potentialunterschiede zwischen den Kurven der Pfeilmaske (dünne durchgezogene Linie) und der Linienmaske (gestrichelt) sind in den beiden oberen Diagrammen von Abbildung 6 abgebildet und werden in jedem Diagramm mit dem gleichen Unterschied der Masken-Reaktions-Aufgabe (fette schwarze Linien) als der Vergleichsbedingung verglichen.

Die Ergebnisse der Varianzanalyse sind anhand der dunklen horizontalen Balken unterhalb der Kurven dargestellt und zusätzlich Tabelle 1 zu entnehmen.

In der Vergleichsbedingung (Masken-Reaktions-Aufgabe; oberes Diagramm von Abbildung 5) begann die Nd-Maske bei 100 ms, der P1-Komponente, und setzte sich bis 450 ms durchweg fort.

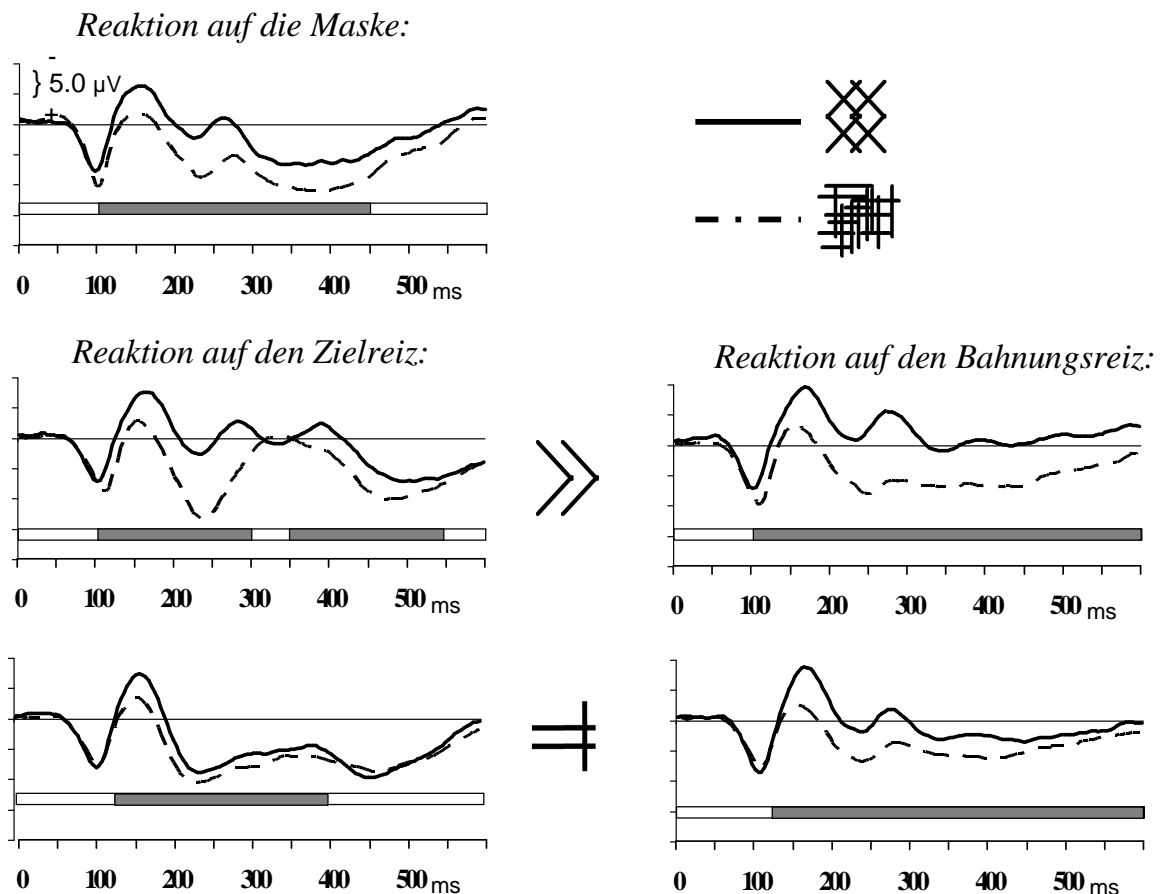
Wenn die Pfeilstimuli relevant waren (mittleres Diagramm von Abbildung 5), begann die Nd-Maske ebenso bei 100 ms, war jedoch ab 150 ms größer als in der Vergleichsbedingung (oberes Diagramm von Abbildung 6). Dieser größere Effekt hielt in der Bahnungsreiz-Reaktions-Aufgabe bis 500 ms ununterbrochen an. In der Zielreiz-Reaktions-Aufgabe wurde er jedoch bei 300 ms von der vom Zielreiz ausgelösten Aktivierung (s. oben, Experiment 1) unterbrochen.

Waren die Linienreize relevant (unteres Diagramm von Abbildung 5), so setzte die Nd-Maske im Vergleich zur Vergleichsbedingung 25 ms später ein und blieb in der Zielreiz-Reaktions-Aufgabe durchweg kleiner als in der Vergleichsbedingung (gestrichelte Linie im oberen Diagramm von Abbildung 6).

### **3.4.2 Verhalten**

#### Reaktionszeiten:

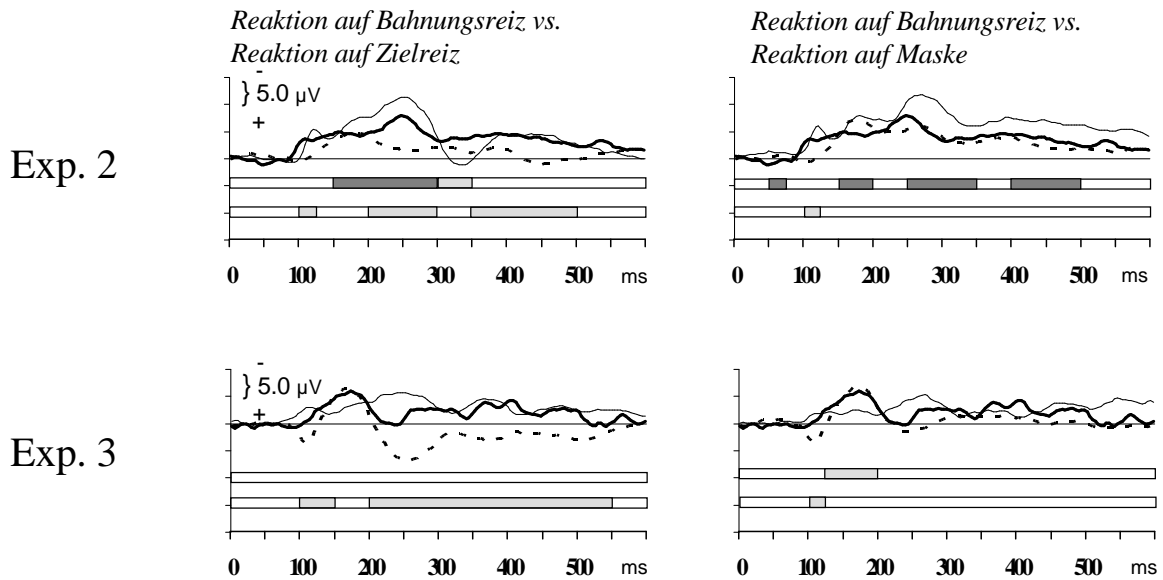
*Reaktion auf den Zielreiz* (Abbildung 7, Diagramm links oben): Die Bahnungsreiz-Effekte waren vom Typ der Reize und der Maske abhängig (Bahnungsreiz x Stimulus x Maske:  $F(1,11) = 12,8$ ,  $p = 0,004$ ): Mit den Pfeilstimuli war der Bahnungseffekt mit der Pfeilmaske invers ( $t(11) = -7,1$ ,  $p < 0,001$ ) und mit der Linienmaske nicht signifikant ( $t(11) = -0,8$ , n.s.). Die Linienstimuli riefen den inversen Bahnungseffekt mit beiden Masken hervor:  $t(11) = -5,6$ ,  $p < 0,001$  mit der Pfeilmaske,  $t(11) = -2,5$ ,  $p = 0,03$  mit der Linienmaske. Die Antworten auf Linienreize erfolgten generell schneller als auf Pfeilreize (Stimulus:  $F(1,11) = 66,9$ ,  $p < 0,001$ ).



**Abbildung 5: Mittelwerte der EEG-Potentiale in Experiment 2**

Die EEG-Potentiale wurden an der Elektrodenposition PO8 aufgezeichnet, wo der Maskeneffekt am größten ist. Die Werte wurden über die Richtungen der Bahnungsreize (kongruent oder inkongruent mit dem Zielreiz) zusammengefasst. Negative Spannungen ergeben einen Ausschlag nach oben. Der Zeitpunkt  $t_0$  kennzeichnet den Beginn des Bahnungsreizes, ausgenommen für die Masken-Reaktions-Aufgabe, wo  $t_0$  das Einsetzen der Maske kennzeichnet, die der einzige Reiz ist. In der Zielreiz-Reaktions- und Bahnungsreiz-Reaktions-Aufgabe erschien die Maske bei 13 ms, die imperativen Pfeile in der Zielreiz-Reaktions-Aufgabe wurden bei 120 ms präsentiert. Die Analyse wurde für sechs Abschnitte à 25 ms von 4 bis 150 ms durchgeführt und für aufeinander folgende neun Abschnitte à 50 ms von 154 bis 600 ms. Die graue Schattierung innerhalb des horizontal verlaufenden Balkens markiert Abschnitte, in denen die interessierenden Effekte der Maske signifikant waren.

In allen Graphiken dieser Abbildung kennzeichnen durchgezogene Linien Durchgänge mit der Pfeilmaske und gestrichelte Linien Durchgänge mit der Linienmaske. In der Masken-Reaktions-Aufgabe waren Masken die einzigen Reize. Die zusätzlichen Reize in den beiden Blöcken der Bahnungsreiz-Reaktions-Aufgabe, wo der Bahnungsreiz der Maske (rechte Hälfte) vorausgeht und in den beiden Blöcken der Zielreiz-Reaktions-Aufgabe, wo der Bahnungsreiz der Maske vorausgeht und ihr der Zielreiz folgt (linke Hälfte), sind in der Mitte dargestellt: entweder Pfeile oder Linien.



**Abbildung 6: Unterschiede zwischen Durchgängen mit der Pfeilmaske und der Linienmaske**

Dargestellt sind die Unterschiede zwischen durchgezogenen (Pfeilmaske) und gestrichelten (Linienmaske) Linien aus Abbildung 5 (Experiment 2, obere Graphiken) und Abbildung 8 (Experiment 3, untere Graphiken). Diese Unterschiede der Masken-Reaktions-Aufgabe sind als fett gedruckte Linien in jeder Graphik dargestellt und bilden die Vergleichsbedingung. Die dünnen durchgezogenen Linien stehen für die Unterschiede im Pfeil-Block und die gestrichelten Linien für die Unterschiede im Linien-Block. Die Signifikanz des Unterschiedes zwischen Pfeil-Block und Masken-Reaktions-Aufgabe (dünne durchgezogene versus fette durchgezogene Linien) ist jeweils im oberen der beiden horizontalen Balken in jeder Graphik dargestellt. Die Signifikanz des Unterschiedes zwischen dem Linien-Block und der Masken-Reaktions-Aufgabe (gestrichelte vs. fette durchgezogene Linien) ist in den unteren horizontalen Balken zu sehen. Während Dunkelgrau einen signifikanten Effekt und Weiß keine Signifikanz bedeuten, steht der hellere Grauton für den umgekehrten Effekt, d.h. in Pfeil- und Linien-Blöcken signifikant weniger Negativierung als in der Masken-Reaktions-Aufgabe.

**Tabelle 1: Statistiken der Analysen von PO7- und PO8-Aufnahmen in Experiment 2**

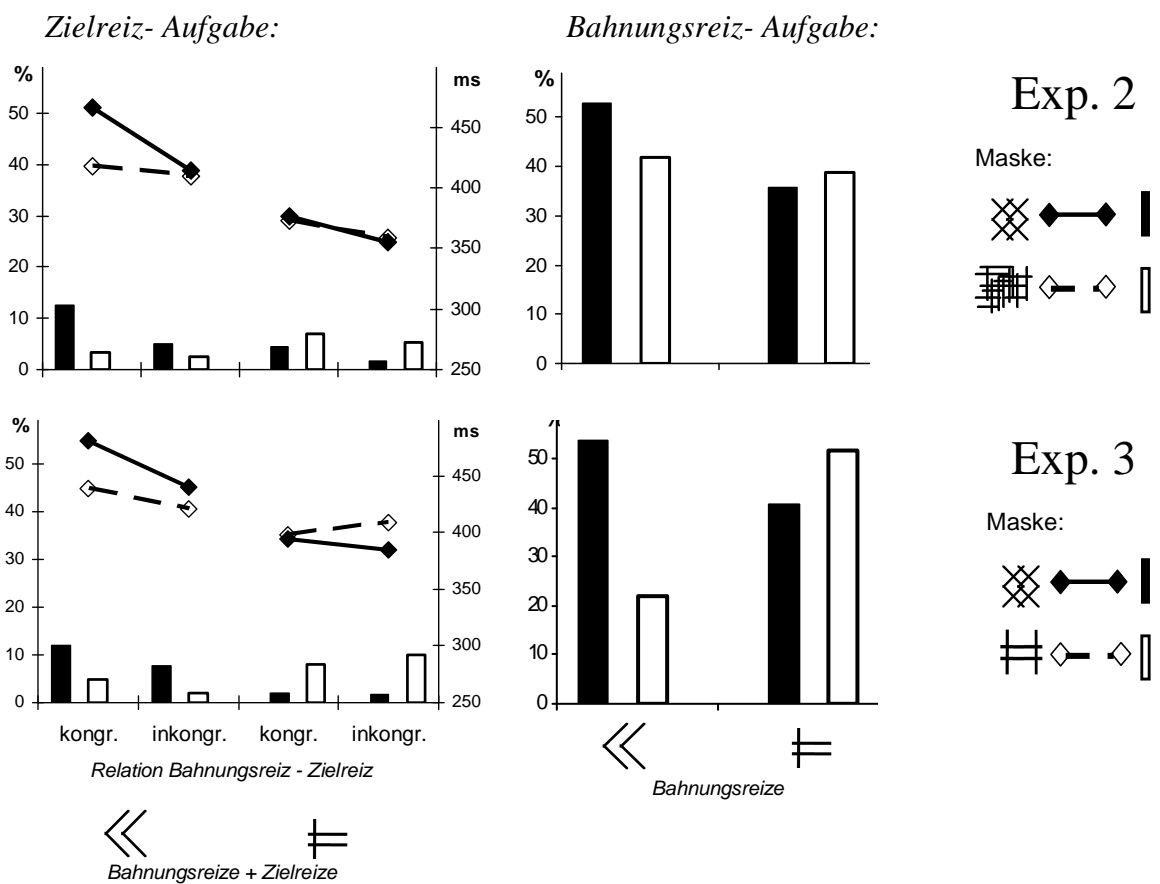
	Reaktion auf Pfeile als Bahnungsreize		Reaktion auf Linien als Bahnungsreize		Reaktion auf Pfeile als Zielreize		Reaktion auf Linien als Zielreize		
	Maske	Maske	Maske x Block	Maske	Maske x Block	Maske	Maske x Block	Maske	Maske x Block
1-25	1,0	0,3		0,7		2,2		1,3	
26-50	2,0	3,61 (0,08)	3,7 (0,08)	0,1	0,9	0,5	2,6	2,7	4,2
51-75	2,3	4,7 (0,052)	<b>5,8</b> (0,04)	0,8	2,0	0,0	1,8	0,2	2,6
76-100	0,0	1,8	0,7	0,1	0,1	0,5	0,3	0,3	0,2
101-125	<b>15,1</b> (0,003)	<b>20,6</b> (0,001)	0,1	0,9	<b>11,1</b> (0,007)	<b>35,5</b> (0,000)	0,0	0,0	<b>20,6</b> (0,001)
126-150	<b>18,2</b> (0,001)	<b>31,6</b> (0,000)	0,0	<b>13,8</b> (0,003)	2,2	<b>39,0</b> (0,000)	0,1	<b>23,8</b> (0,000)	4,2 (0,07)
151-200	<b>28,6</b> (0,000)	<b>48,9</b> (0,000)	<b>7,9</b> (0,01)	<b>76,1</b> (0,000)	1,8	<b>67,5</b> (0,000)	<b>8,3</b> (0,02)	<b>67,5</b> (0,000)	0,2
201-250	<b>36,2</b> (0,000)	<b>36,3</b> (0,000)	3,4 (0,09)	<b>20,5</b> (0,001)	0,5	<b>76,5</b> (0,000)	<b>14,3</b> (0,003)	<b>22,1</b> (0,001)	<b>10,6</b> (0,008)
251-300	<b>31,4</b> (0,000)	<b>133,0</b> (0,000)	<b>17,5</b> (0,002)	<b>33,1</b> (0,000)	0,0	<b>154,4</b> (0,000)	<b>11,3</b> (0,006)	<b>6,5</b> (0,03)	<b>20,3</b> (0,001)
301-350	<b>10,8</b> (0,007)	<b>44,3</b> (0,000)	<b>5,3</b> (0,04)	<b>7,1</b> (0,02)	0,2	0,0	<b>4,9</b> (0,05)	<b>8,1</b> (0,02)	2,0
351-400	<b>14,7</b> (0,003)	<b>21,3</b> (0,001)	2,1	<b>10,3</b> (0,008)	0,0	<b>13,3</b> (0,004)	0,4	<b>7,4</b> (0,02)	<b>5,4</b> (0,04)
401-450	<b>18,1</b> (0,001)	<b>35,2</b> (0,000)	<b>10,1</b> (0,009)	<b>12,1</b> (0,005)	0,2	<b>58,5</b> (0,000)	2,2	0,0	<b>8,7</b> (0,01)
451-500	4,7 (0,05)	<b>20,8</b> (0,001)	<b>5,7</b> (0,04)	<b>8,6</b> (0,01)	0,2	<b>45,5</b> (0,000)	2,9	4,4 (0,06)	<b>6,9</b> (0,02)
501-550	4,0 (0,07)	<b>31,0</b> (0,000)	4,8 (0,05)	<b>8,1</b> (0,02)	0,2	<b>9,0</b> (0,01)	0,4	0,0	3,5 (0,09)
551-600	0,6	<b>19,2</b> (0,001)	3,4 (0,09)	<b>5,4</b> (0,04)	0,0	1,5	0,0	3,2	0,0

**Tabelle 1: Statistiken der Analysen von PO7- und PO8-Aufnahmen in Experiment 2**

Die Analysen wurden innerhalb jedes festgelegten Fensters (Zeilen) separat für jeden der fünf Blöcke (entsprechend Abbildung 5) und für jede der vier Zielreiz-Reaktions- und Bahnungsreiz-Reaktions-Bedingungen gegen die Masken-Reaktions-Aufgabe (entsprechend den oberen Graphiken in Abbildung 6) durchgeführt. Erstellt wurden F-Werte, die für die Haupteffekte der Maske (Pfeile vs. Linien) aus den separaten Analysen und der Maske x Block-Bedingung von den gemeinsamen Analysen erhalten wurden. Wenn  $p \leq 0,10$  ist, ist die Wahrscheinlichkeit unter dem F-Wert aufgelistet. Wenn  $p \leq 0,05$  ist, ist der F-Wert fett gedruckt. Freiheitsgrade für alle Effekte sind 1/11.

*Reaktion auf die Maske:* Hier unterschieden sich die Reaktionszeiten auf die Pfeil- und Linienmaske nicht (427 ms vs. 431 ms;  $t(11) = -0,5$ , n.s.).

*Reaktion auf den Bahnungsreiz:* Aufgrund der fehlenden zeitlichen Begrenzung der Reaktionen auf die Bahnungsreize variierten die Reaktionszeiten hier über einen weiten Bereich und wurden demgemäß nicht analysiert.



**Abbildung 7: Reaktionszeiten und Fehler in Experiment 2 und 3**

Dargestellt sind die gemittelten Werte über alle Teilnehmer. Durchgezogene Linien und schwarz gefüllte Säulen kennzeichnen Durchgänge mit der Pfeilmaske, gestrichelte Linien und leere Säulen Durchgänge mit der Linienmaske. Linien stehen für die Reaktionszeiten, bezogen auf die rechte y-Achse, Säulen für die Fehler, bezogen auf die linke y-Achse. Die Werte der Pfeilblöcke sind auf der linken Seite jeder Graphik dargestellt und die der Linienblöcke auf der rechten.

### Fehler:

Die Fehlerraten folgten einem den Reaktionszeiten sehr ähnlichen Muster. Im Detail:

*Reaktion auf den Zielreiz* (Abb. 7, Säulen im Diagramm links oben): Es gab die Interaktion Bahnungsreiz x Stimulus x Maske ( $F(1,11) = 5,0$ ,  $p = 0,047$ ; zusätzlich zu den zwei Interaktionen für Maske x Bahnungsreiz,  $F(1,11) = 6,3$ ,  $p = 0,03$ , und Maske x Stimulus,  $F(1,11) = 21,1$ ,  $p = 0,001$ ), und zu den Haupteffekten des Bahnungsreizes,  $F(1,11) = 6,5$ ,  $p = 0,03$ , und der Maske,  $F(1,11) = 9,5$ ,  $p = 0,01$ ; der Bahnungseffekt war invers, wenn Pfeile von Pfeilen maskiert wurden ( $t(11) = -2,8$ ,  $p = 0,02$ ), war nicht invers, wenn Pfeile von Linien maskiert wurden ( $t(11) = +0,5$ , n.s.), und war wieder invers, wenn Linien von Pfeilen maskiert wurden ( $t(11) = -2,9$ ,  $p = 0,01$ ). Die einzige Abweichung vom Ergebnismuster der Reaktionszeiten war, dass der inverse Bahnungseffekt nicht signifikant wurde, wenn Linien von Linien maskiert wurden ( $t(11) = -1,1$ , n. s.).

*Reaktion auf die Maske:* Die Fehlerrate wies zwischen den Pfeil- und Linienmaskendurchgängen keinen Unterschied auf (Durchschnitt 5,6 % vs. 5,3 %),  $t(11) = 0,2$ , n.s.).

*Reaktion auf den Bahnungsreiz* (Abbildung 7, Diagramm rechts oben): Die Prozentsätze der richtigen Reaktionen unterschieden sich zwischen den Stimuli ( $F(1,11) = 5,9$ ,  $p = 0,03$ ): Linien wurden besser identifiziert als Pfeile. Diese Ergebnisse waren zusätzlich abhängig von spezifischen Bahnungsreiz-Masken-Kombinationen ( Stimulus x Maske:  $F(1,11) = 14,3$ ,  $p = 0,003$ ): Es gab keinen Unterschied zwischen den Masken, wenn die beiden Linienreize identifiziert werden mussten (39,0 % vs. 35,8 % Fehler mit der Linienmaske vs. Fehler mit der Pfeilmaske,  $t(11) = +1,1$ ,  $p = 0,31$ ), aber die Pfeile wurden mit der Pfeilmaske schlechter identifiziert als mit der Linienmaske (53 % vs. 42 %,  $t(11) = -2,6$ ,  $p = 0,02$ ). Das heißt, dass die Maskierung effizienter war, wenn die Maske Muster enthielt, die dem Bahnungsreiz ähnlich waren. Verglichen mit reinem Zufallsniveau (50 % Ratewahrscheinlichkeit) wurden die Linienreize besser identifiziert als per Zufall ( $t(11) \geq$



3.0,  $p < 0,01$ ), von Linien maskierte Pfeile immerhin noch tendenziell besser ( $t(11) = 1,9$ ,  $p = 0,08$ ), und von Pfeilen maskierte Pfeile wurden schlechter als per Zufall identifiziert ( $t(11) = -2,6$ ,  $p = 0,03$ ), d.h., in diesem Fall hatten die Teilnehmer eine leichte, aber durchgängige Tendenz, die dem Bahnungsreiz entgegengesetzte Taste zu drücken.

### **3.5 Diskussion**

Erneut zeigte sich, dass die Pfeilmaske an hinteren Elektrodenpositionen eine größere Negativierung hervorrief als die Linienmaske. Sogar in der Masken-Reaktions-Aufgabe, in der die Masken die einzigen dargebotenen Reize waren, wurde dieser Effekt deutlich. Da die größere Negativierung demnach durch die Pfeilstimuli per se ausgelöst wird, scheint der Nd-Maske eine exogene Ursache zugrunde zu liegen. Carrierio, Vasile, Budai, Weiss, und Battaglini (2004) berichteten kürzlich von einem ähnlichen Ergebnis.

Andererseits scheint auch eine endogene Ursache eine Rolle zu spielen: Da die Nd-Maske größer wurde, wenn Pfeile relevante Reize waren, und kleiner, wenn Linien relevant waren, ließ sie sich von der systematischen Variation der Reizrelevanz im Rahmen der Aufgabe beeinflussen.

Die Verhaltensergebnisse für die Pfeilreize reproduzierten im Großen und Ganzen die bisherigen Ergebnisse. Als interessant erwies sich der Effekt, dass Pfeile, die von der Pfeilmaske maskiert wurden, systematisch schlechter als per Zufall identifiziert wurden.

Die Verhaltensergebnisse für die Linienreize waren insofern interessant, als dass ein inverser Bahnungseffekt auch bei unvollständiger Maskierung erhalten blieb.

## **4 EXPERIMENT 3**

### **4.1 Einleitung**

Als exogene Ursache der Nd-Maske können viele mögliche Gründe in Frage kommen, denn die Pfeil- und Linienmaske weisen wesentliche Unterschiede auf:

Beide Maskentypen unterscheiden sich in ihrer Ortsfrequenz, die bei der Pfeilmaske niedriger ist als bei der Linienmaske. Beispielsweise gibt es in der Pfeilmaske weniger Linienüberkreuzungen als in der Linienmaske (5 vs. über 25). Die Pfeilmaske besitzt nicht nur eine charakteristischere Gestalt als die Linienmaske, sie ist auch symmetrisch aufgebaut, sowohl an ihrer vertikalen und horizontalen Achse als auch in etwa an ihren beiden diagonalen Achsen, wohingegen die Linienmaske kaum Symmetrie aufweist. Zudem blieb die Pfeilmaske über die Durchgänge immer die Gleiche, wohingegen es sechs verschiedene Versionen der Linienmaske gab.

Um zwischen diesen Alternativen eine mögliche Erklärung zu finden, sind weitere Experimente erforderlich. Es scheint allerdings sehr unwahrscheinlich zu sein, dass die Ortsfrequenz per se die Erklärung einer exogenen Verursachung der Nd-Maske liefert: In vorausgegangenen Studien lösten visuelle Reize mit niedriger räumlicher Frequenz zwar eine erhöhte Negativierung mit einer Latenz von 150–200 ms aus (N180 bei Kenemans, Kok und Smulders, 1993; N170 ms bei Reinvang, Magnussen und Greenlee, 2002), die Nd-Maske ist jedoch zeitlich viel ausgedehnter als die kurzfristige Zunahme der Negativierung in diesen Arbeiten. In Reinvang et al. (2002) folgte dieser Negativierung zudem ein größerer positiver Ausschlag (P220), und es ging ihr in beiden Arbeiten (Kenemans, Kok und Smulders, 1993; Reinvang, Magnussen und Greenlee, 2002) eine reduzierte Negativierung bei 80–100 ms voraus (s. zu letzterem auch Kenemans, Baas, Mangun, Lijffijt und Verbaten, 2000; Martínez, Di Russo, Anllo-Vento und Hillyard, 2001). Des Weiteren interagierte die von der niedrigen Ortsfrequenz hervorgerufene

erhöhte Negativierung, anders als die Nd-Maske (s.u.), nicht mit dem Faktor der Reizrelevanz (Kenemans et al., 1993).

Daher wurde im folgenden Experiment der Versuch gemacht, die Unterschiede zwischen den Reizen bezüglich der anderen aufgelisteten Faktoren – charakteristische Gestalt, Symmetrie und Konstanz der Maske – zu reduzieren. So wurde als Kontrollreiz zur Pfeilmaske eine neue Linienmaske eingeführt, die eine charakteristische Gestalt besaß, deren symmetrische Eigenschaften der Pfeilmaske ähnlich waren und von der es nur eine Version gab (s. Abb. 2).

Dadurch, dass diese Linienmaske aus der Überlagerung von rechten und linken Linien-Stimuli zusammengesetzt war, stand sie zu den Linien-Bahnungs- und Zielreizen in der gleichen logischen Beziehung wie die Pfeilmaske zu den Pfeilreizen. Sollte es dennoch weiterhin eine unterschiedliche Nd-Maske zwischen der Pfeilmaske und der Linienmaske geben, so würde dieser Effekt die spezielle Rolle der Pfeile unterstreichen. Um weitere Unterschiede bezüglich der Aufgabenrelevanz zu reduzieren, wurde die Masken-Reaktions-Aufgabe an die erste Stelle in der Reihenfolge der drei Aufgaben gesetzt und nicht wie in Experiment 2 an die zweite Stelle.

Die Unterschiede der Masken bezüglich ihrer charakteristischen Gestalt, Symmetrie und Konstanz könnten auch die in Experiment 2 gefundenen Effekte der Aufgabenrelevanz beeinflusst haben. Somit wurde von der Einführung einer stabilen, symmetrischen und charakteristischen Maske erwartet, dass die Effekte der Aufgabenrelevanz für die neue Linienmaske zunehmen und dass sich die Nd-Maske im Falle der Relevanz der Linienstimuli möglicherweise umkehrt.

## **4.2 Material und Methoden**

### **4.2.1 Versuchsteilnehmer**

Versuchsteilnehmer waren wieder Studenten der Lübecker Universität, die in einer einzigen Sitzung getestet wurden. Von den zwölf ursprünglich getesteten Teilnehmern musste einer aufgrund einer technischen Störung von der Auswertung ausgeschlossen werden. Daher werden die Verhaltensanalysen die Daten von elf Teilnehmern beinhalten. Bei zwei weiteren Teilnehmern ergaben sich zu viele EEG-Artefakte. Somit blieben neun Teilnehmer, unter ihnen sechs Männer und drei Frauen, ihr Durchschnittsalter betrug  $24 \pm 2$  Jahre.

### **4.2.2 Versuchsaufbau**

Der Versuchsaufbau war der gleiche wie in Experiment 2 (vgl. Kapitel 3.2.2).

### **4.2.3 Stimuli und Versuchsdurchführung**

Wie in Experiment 2 bestand die experimentelle Sitzung aus drei Abschnitten. Dennoch gab es einige Änderungen:

Anders als in Experiment 2 wurde die Masken-Reaktions-Aufgabe hier an die erste Stelle des Versuchsablaufes gesetzt (an zweiter Stelle jetzt die Zielreiz-Reaktions-Aufgabe, gefolgt von der Bahnungsreiz-Reaktions-Aufgabe).

Zweitens wurden durch das Einbringen der neuen Linienmaske Bahnungs- und Zielreize auf der einen Seite und die Masken auf der anderen Seite komplett miteinander gekreuzt: Bahnungs- und Zielreize wurden innerhalb eines gegebenen Blocks entweder von den Pfeil- oder den Linien-Stimuli gebildet. Als Masken fungierten in zufälliger Reihenfolge die in den ersten beiden Experimenten benutzte Pfeilmaske und die neue Linienmaske.

Analog zur Pfeilmaske, die aus der Überlagerung der beiden Pfeilstimuli zusammengesetzt war, bestand die neue Linienmaske aus der Überlagerung des linken und rechten Linien-Stimulus (s. Abb. 2). Bahnungs- und Zielreize waren die gleichen Pfeil- und Linienstimuli wie in Experiment 2.

In der Masken-Reaktions-Aufgabe mussten fünf Teilnehmer die linke Taste als Reaktion auf die Pfeilmaske drücken und die rechte Taste als Reaktion auf die Linienmaske, umgekehrt bei den anderen vier Teilnehmern.

#### **4.2.4 EEG**

Die Methoden waren die gleichen wie in Experiment 2 (vgl. Kapitel 3.2.4).

### **4.3 Datenanalyse**

Die Datenanalyse war mit Experiment 2 identisch (vgl. Kapitel 3.3).

## **4.4 Ergebnisse**

### **4.4.1 EEG-Potentiale**

Die Mittelwerte der ERPs, abgeleitet von der Elektrodenposition PO8, sind für alle fünf Blöcke (Masken-Reaktions-Aufgabe und jeweils Pfeil- und Linien-Block der Zielreiz- und Bahnungsreiz-Reaktions-Aufgabe) in Abbildung 8 dargestellt. Die Potentialunterschiede zwischen den Kurven der Pfeilmaskendurchgänge (dünne durchgezogene Linie) und der Linienmaskendurchgänge (gestrichelt) sind für die Zielreiz- und Bahnungsreiz-Aufgabe in den beiden unteren Diagrammen von Abbildung 6 abgebildet und werden in jedem Diagramm mit dem gleichen Unterschied der Masken-Reaktions-Aufgabe (fette schwarze Linie) als Vergleichsbedingung verglichen. Die Ergebnisse der Varianzanalyse sind

anhand der horizontalen Balken unterhalb der Kurven dargestellt und zusätzlich in Tabelle 2 zusammengestellt.

In der Vergleichsbedingung war eine Nd-Maske nachzuweisen, die bei 125 ms signifikant zu werden begann und sich bis 500 ms fortsetzte. Diese Signifikanz wurde jedoch an zwei zeitlichen Abschnitten unterbrochen (200–250 ms und 300–350 ms).

Waren Pfeile die relevanten Reize (Pfeil-Block), begann die Nd-Maske in der Bahnungsreiz-Reaktions-Aufgabe bei 150 ms und in der Zielreiz-Reaktions-Aufgabe bereits bei 100 ms und setzte sich in beiden Aufgaben bis 600 ms fort. Die Signifikanz der Nd-Maske wurde in der Zielreiz-Reaktions-Aufgabe von einem kürzeren (400–450 ms) und in der Bahnungsreiz-Reaktions-Aufgabe von einem längeren (300–450 ms) Intervall unterbrochen. Anders als in Experiment 2 war die Nd-Maske hier mit den Pfeilen als relevante Reize nicht größer als in der Vergleichsbedingung. Die einzige signifikante Maske x Block-Interaktion (125–200 ms; Abbildung 6, Diagramm rechts unten) kam dadurch zustande, dass die Nd-Maske in der Bahnungsreiz-Reaktions-Aufgabe kleiner war als in der Masken-Reaktions-Aufgabe. Die scheinbare Tendenz der Nd-Maske, bei 200–300 ms größer als in der Masken-Reaktions-Aufgabe zu sein (Abbildung 6, Diagramme unten), reichte zur Signifikanz nicht aus (Tabelle 2).

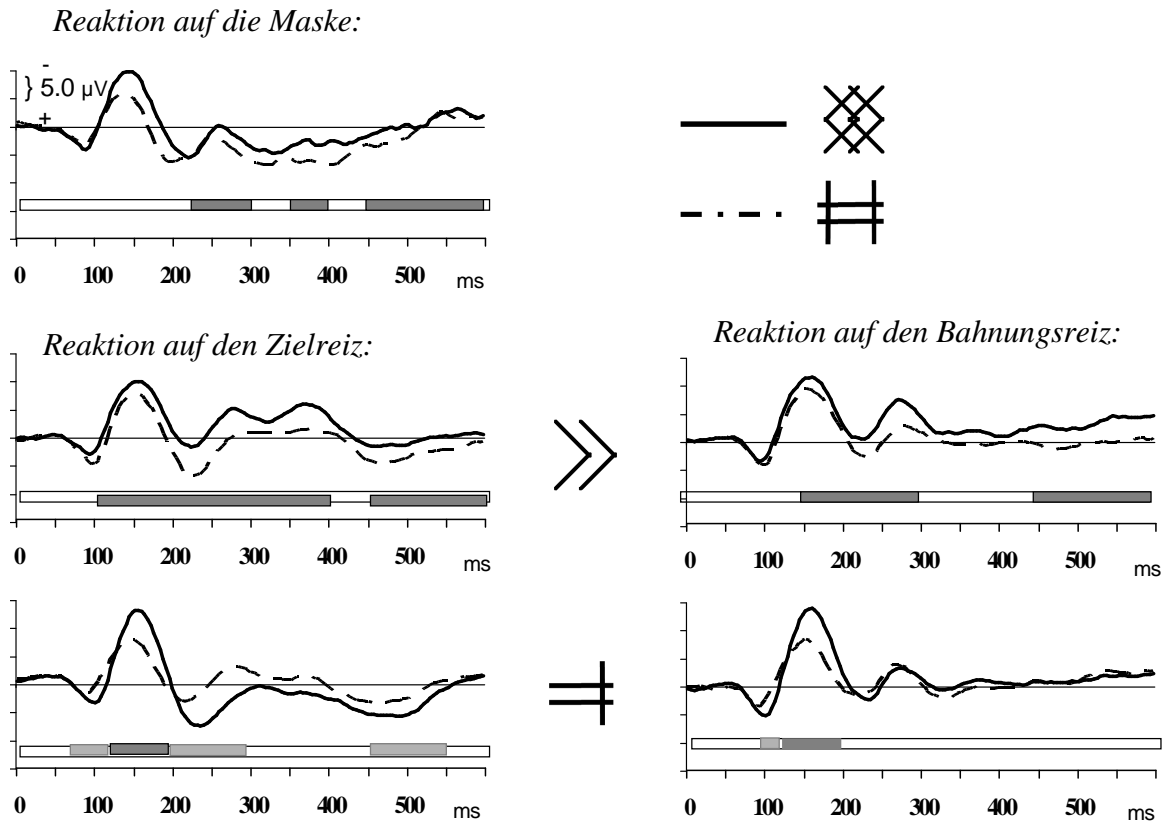
Bildeten Linien die relevanten Reize (Linien-Block), löste die Pfeilmaske weniger Negativierung aus als die Linienmaske, mit Ausnahme der N1-Komponente. Diese „umgekehrte“ Nd-Maske begann bei der P1-Komponente, d.h. bei 75–125 ms in der Zielreiz-Reaktions-Aufgabe und bei 100–125 ms in der Bahnungsreiz-Reaktions-Aufgabe und setzte sich in der Zielreiz-Reaktions-Aufgabe von 200 ms bis 550 ms durchweg fort. Besonders deutlich wurde dieser Effekt in Bezug auf die Nd-Maske der Vergleichsbedingung (Abbildung 6, Diagramm links unten). Nur die N1-Komponente war von 125 ms bis 200 ms sowohl in der Zielreiz- als auch in der Bahnungsreiz-Reaktions-Aufgabe mit der Pfeilmaske deutlich negativer als mit der Linienmaske.

**Tabelle 2: Statistiken der Analysen von PO7- und PO8-Aufnahmen in Experiment 3**

	Reaktion auf Pfeile als Bahnungsreize		Reaktion auf Linien als Bahnungsreize		Reaktion auf Pfeile als Zielreize		Reaktion auf Linien als Zielreize		
	Maske	Maske	Maske x Block	Maske	Maske x Block	Maske	Maske x Block	Maske	Maske x Block
1-25	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,6	0,3	1,3	0,0
26-50	0,7	0,1	0,6	2,0	2,0	0,0	0,7	2,7	0,3
51-75	0,0	1,3	0,4	3,8 (0,09)	0,8	0,2	0,2	0,2	0,0
76-100	0,1	0,3	0,5	0,7	0,1	4,1 (0,08)	2,9	0,3	0,3
101-125	1,5	4,6 (0,06)	0,0	<b>14,1</b> (0,006)	<b>11,4</b> (0,01)	<b>18,8</b> (0,003)	1,0	0,0	<b>10,3</b> (0,01)
126-150	<b>19,5</b> (0,002)	5,2 (0,05)	<b>10,1</b> (0,01)	<b>6,8</b> (0,03)	1,4	<b>5,7</b> (0,04)	4,3 (0,07)	<b>23,8</b> (0,000)	<b>6,7</b> (0,03)
151-200	<b>45,9</b> (0,000)	<b>7,8</b> (0,02)	<b>11,1</b> (0,01)	<b>27,9</b> (0,001)	0,0	<b>11,4</b> (0,001)	4,1 (0,08)	<b>67,5</b> (0,000)	1,0
201-250	0,8	<b>7,3</b> (0,03)	1,2	0,0	1,0	<b>14,2</b> (0,005)	3,9 (0,09)	<b>22,1</b> (0,001)	<b>17,5</b> (0,003)
251-300	<b>7,0</b> (0,03)	<b>16,4</b> (0,004)	1,9	0,0	4,5 (0,07)	<b>32,8</b> (0,000)	4,9 (0,06)	<b>6,5</b> (0,03)	<b>30,5</b> (0,001)
301-350	3,2	1,4	0,3	1,0	0,5	<b>7,2</b> (0,03)	0,0	<b>8,1</b> (0,02)	<b>8,0</b> (0,02)
351-400	<b>6,2</b> (0,04)	1,0	0,4	2,0	2,0	<b>20,8</b> (0,002)	0,4	<b>7,4</b> (0,02)	<b>6,3</b> (0,04)
401-450	<b>6,7</b> (0,03)	2,3	0,5	0,2	2,8	4,9 (0,06)	0,9	0,0	<b>6,4</b> (0,04)
451-500	<b>5,3</b> (0,05)	<b>11,0</b> (0,01)	0,2	0,1	2,2	<b>9,9</b> (0,01)	0,2	4,4 (0,06)	<b>20,0</b> (0,003)
501-550	1,3	<b>7,2</b> (0,03)	3,6 (0,09)	0,3	1,4	<b>11,3</b> (0,01)	3,5 (0,10)	0,0	<b>24,0</b> (0,001)
551-600	0,6	<b>11,6</b> (0,009)	4,0 (0,08)	0,2	0,4	<b>12,1</b> (0,008)	1,7	3,2	1,0

**Tabelle 2: Statistiken der Analysen von PO7- und PO8-Aufnahmen in Experiment 3**

Die Analysen wurden innerhalb jedes festgelegten Fensters (Zeilen) separat für jeden der fünf Blöcke (entsprechend Abbildung 8) und für jede der vier Zielreiz-Reaktions- und Bahnungsreiz-Reaktions-Bedingungen gegen die Masken-Reaktions-Aufgabe (entsprechend den unteren Graphiken in Abbildung 6) durchgeführt. Erstellt wurden F-Werte, die für die Haupteffekte der Maske (Pfeile vs. Linien) aus den separaten Analysen und der Maske x Block-Bedingung von den gemeinsamen Analysen erhalten wurden. Wenn  $p \leq 0,10$  ist, ist die Wahrscheinlichkeit unter dem F-Wert aufgelistet. Wenn  $p \leq 0,05$  ist, ist der F-Wert fett gedruckt. Freiheitsgrade für alle Effekte sind 1/8.



**Abbildung 8: Mittelwerte der EEG-Potentiale in Experiment 3**

Die EEG-Potentiale wurden an der Elektrodenposition PO8 aufgezeichnet, wo der Maskeneffekt am größten war. Die Werte wurden über die Richtungen der Bahnungsreize gemittelt (kongruent und inkongruent zum Zielreiz). Negative Spannungen ergaben eine Amplitude nach oben. Zum Zeitpunkt  $t_0$  setzte der Bahnungsreiz ein, mit Ausnahme in der Masken-Reaktions-Aufgabe, wo  $t_0$  den Beginn der Maske kennzeichnet, die der einzige Reiz ist. In der Bahnungsreiz- und Zielreiz-Reaktions-Aufgabe setzte die Maske bei 13 ms ein, in der Zielreiz-Reaktions-Aufgabe zusätzlich der imperative Reiz bei 120 ms.

Die Analysen wurden für sechs Abschnitte à 25 ms von 4 ms bis 150 ms durchgeführt und von neun fortlaufenden Abschnitten à 50 ms von 154 ms bis 600 ms. Die Abschnitte mit signifikanten Maskeneffekten werden durch den grau schattierten horizontalen Balken gekennzeichnet. Der hellere Grauton markiert den umgekehrten Effekt, d.h. weniger Negativierung durch die Pfeilmaske.

In allen Graphiken kennzeichnen durchgezogene Linien Durchgänge mit der Pfeilmaske und gestrichelte Linien Durchgänge mit der Linienmaske. Diese waren die einzigen Reize in der Masken-Reaktions-Aufgabe. Die zusätzlichen Reize in den beiden Blöcken der Bahnungsreiz-Reaktions-Aufgabe, wo die Bahnungsreize der Maske (rechte Hälfte) vorausgehen, und in den beiden Blöcken der Zielreiz-Reaktions-Aufgabe, wo der Bahnungsreiz der Maske vorausgeht und ihr der Zielreiz folgt (linke Hälfte), sind in der Mitte dargestellt: entweder Pfeile oder Linien.



#### 4.4.2 Verhalten

##### Reaktionszeiten:

*Reaktion auf die Maske:* Die Teilnehmer zeigten die Tendenz zu einer langsameren Reaktion auf die Pfeilmaske als auf die Linienmaske (450 ms vs. 433 ms:  $F(1,10) = 3,6$ ,  $p = 0,09$ ).

*Reaktion auf den Zielreiz* (Abbildung 7, Diagramm links unten): Die Reaktionen erfolgten auf die Pfeilreize langsamer als auf die Linienreize (Reiz:  $F(1,10) = 16,6$ ,  $p = 0,002$ ) und waren bei kongruenten Reizen langsamer als bei inkongruenten ( $F(1,10) = 11,9$ ,  $p = 0,006$ ), allerdings nur bei den Pfeilreizen (Bahnungsreiz x Reiz:  $F(1,10) = 9,5$ ,  $p = 0,01$ ; Bahnungsreiz-Effekt für Pfeile:  $F(1,10) = 13,3$ ,  $p = 0,004$ ; Bahnungsreiz-Effekt für Linien:  $F(1,10) = 0,0$ , n.s.) und nur mit der Pfeilmaske (Bahnungsreiz x Maske:  $F(1,10) = 6,7$ ,  $p = 0,03$ ; Bahnungsreiz-Effekt für die Pfeilmaske ( $F(1,10) = 32,8$ ,  $p < 0,001$ ; für die Linienmaske  $F(1,10) = 0,3$ ). Für die Pfeilreize bestand die Bedeutung des letzteren Effektes darin, dass der inverse Bahnungseffekt mit der Pfeilmaske sehr signifikant war (einfacher Effekt des Bahnungsreizes:  $F = 21,4$ ,  $p = 0,001$ ), mit der Linienmaske jedoch nicht signifikant wurde ( $F = 2,8$ ,  $p = 0,13$ ). Die Bedeutung für die Linienreize bestand darin, dass der Bahnungseffekt mit der Pfeilmaske invers war ( $F = 10,1$ ,  $p = 0,01$ ) und es mit der Linienmaske zum direkten Bahnungseffekt kam ( $F = 2,3$ ,  $p = 0,16$ ).

Gleich welcher der Reize den Zielreiz bildete, ob Pfeile oder Linien, die Reaktionen auf den Zielreiz waren immer dann verzögert, wenn diesem seine verwandte Maske vorausging (Stimulus x Maske:  $F(1,10) = 7,6$ ,  $p = 0,02$ ), d.h., die Reaktionen auf Pfeilreize waren mit der Pfeilmaske verlangsamt (einfacher Effekt:  $F(1,10) = 6,8$ ,  $p = 0,03$ ), ebenso die Reaktionen auf die Linienreize mit der Linienmaske ( $F(1,10) = 4,2$ ,  $p = 0,07$ ).

### Fehler:

*Reaktion auf die Maske:* Die Fehlerraten unterschieden sich nicht zwischen der Pfeilmaske und der Linienmaske (Durchschnitt 3,9 %,  $F(1,10) = 0,4$ , n.s.).

*Reaktion auf den Zielreiz* (Abbildung 7, Diagramm links unten): Die Reaktionen erwiesen sich sowohl auf Pfeil- als auch auf Linienreize öfter als fehlerhaft, wenn dem Zielreiz seine ihm verwandte Maske vorausging (Stimulus x Maske:  $F(1,10) = 10,8$ ,  $p = 0,008$ ). Des Weiteren unterschieden sich die Pfeil- und Linienreize in ihren Bahnungsreiz-Effekten (Stimulus x Bahnungsreiz:  $F(1,10) = 4,6$ ,  $p = 0,06$ ): Mit den Pfeilstimuli wurden mehr Fehler gemacht, wenn Bahnungs- und Zielreize kongruent waren (einfacher Effekt:  $F(1,10) = 3,5$ ,  $p = 0,09$ ), wohingegen mit den Linienreizen mehr Fehler gemacht wurden, wenn Bahnungs- und Zielreize inkongruent waren ( $F(1,10) = 3,1$ ,  $p = 0,11$ ).

*Reaktion auf den Bahnungsreiz:* Die Identifizierung des Bahnungsreizes erwies sich als schwieriger, wenn dem Bahnungsreiz seine ihm verwandte Maske folgte (Abbildung 7, Diagramm rechts unten: Bahnungsreiz:  $F(1,10) = 7,9$ ,  $p = 0,02$ ; Maske:  $F(1,10) = 6,4$ ,  $p = 0,03$ ; Bahnungsreiz x Maske:  $F(1,10) = 17,4$ ,  $p = 0,002$ ). Dies trifft sowohl für die Pfeilreize (Pfeilmaske: 54 % falsche Reaktionen; Linienmaske: 22 %;  $F(1,10) = 14,5$ ,  $p = 0,003$ ; wobei 54 % der Ratewahrscheinlichkeit gleichzusetzen sind,  $t = -1,8$ ,  $p = 0,11$ , 22 % hingegen nicht,  $t = 3,7$ ,  $p = 0,004$ ) als auch für die Linienstimuli zu (Linienmaske: 51 % falsche Reaktionen, Pfeilmaske: 41 %;  $F(1,10) = 7,3$ ,  $p = 0,02$ ; 51 % sind der Ratewahrscheinlichkeit gleichzusetzen,  $t = -0,7$ ,  $p = 0,51$ , 41 % hingegen nicht,  $t = 2,5$ ,  $p = 0,03$ ).

## 4.5 Diskussion

Um die Kontrollreize so weit wie möglich auf die Pfeilstimuli abzustimmen, wurde eine neue Linienmaske eingeführt, die zu den Linienstimuli in der gleichen logischen Beziehung steht wie die Pfeilmaske zu den Pfeilstimuli. Dennoch kam es in der Masken-Reaktions-Aufgabe mit der Pfeilmaske weiterhin zu einer größeren Negativierung als mit der neuen Linienmaske. Diese Nd-Maske wurde nicht größer, wenn Pfeile die relevanten Reize waren. Waren Linien die relevanten Reize, wurde die anhaltende Negativierung bei der Pfeilmaske kleiner als bei der Linienmaske, so dass die Nd-Maske ihre Polarität änderte. Im Gegensatz zu dieser Reizrelevanz-abhängigen Variation war die N1-Komponente bei 150–200 ms mit der Pfeilmaske konstant größer als mit der Linienmaske, wobei der zeitliche Verlauf dieses Effektes an die oben zitierten Ergebnisse von Kenemans et al. (1993) und Reinvang et al. (2002) erinnert. Somit scheint der N1-bezogene Anteil der Nd-Maske eine rein exogene Komponente aufzuweisen und sich vom anhaltenden Nd-Masken-Effekt, auf den sich diese Studie fokussiert, zu unterscheiden.

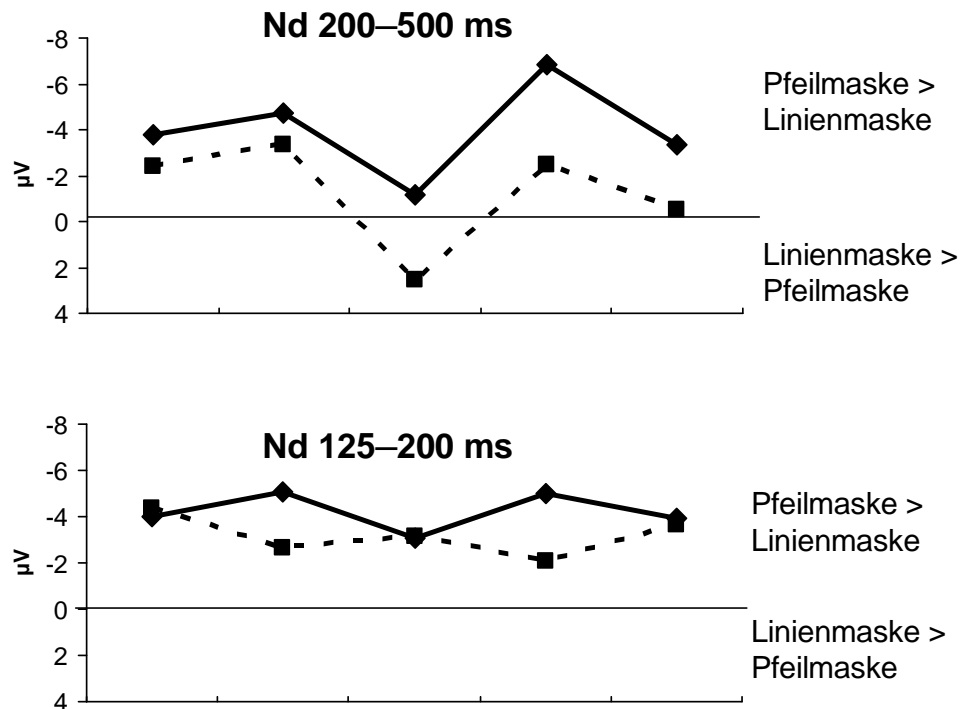
Die Verhaltensergebnisse für Pfeile ähneln denen der vorausgegangenen Experimente. Die Verhaltensergebnisse für Linien zeigen hingegen ein charakteristisches neues Muster. Dieses widerspricht der Annahme von Klapp und Hinkley (2002) sowie jener von Eimer und Schlaghecken (2002), dass der Wendepunkt vom direkten zum inversen Bahnungseffekt mit dem Übergang von der bewussten zur unbewussten Wahrnehmung verbunden ist. Stattdessen wurde bei den Linienreizen der inverse Bahnungseffekt dann nachgewiesen, wenn der Bahnungsreiz gut identifiziert werden konnte (mit der Pfeilmaske), und nicht, wenn er nur unbewusst wahrgenommen wurde (mit der Linienmaske).

### **Vergleich der Nd-Maske zwischen den Experimenten 2 und 3**

Abbildung 9 liefert eine zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse für die Nd-Maske der Experimente 2 und 3.

Für eine zusammenfassende Analyse beider Experimente wurde die Nd-Maske von 200 ms bis 500 ms gemessen und mit dem zusätzlichen Faktor Experiment (Exp.2 vs. Exp.3) in einer Varianzanalyse getestet. Berichtet wird hier nur vom Maske x Experiment-Effekt, der die Unterschiede der Nd-Maske zwischen den beiden Experimenten widerspiegelt. Die Freiheitsgrade waren 1,19. In der Masken-Reaktions-Aufgabe gab es bezüglich der Nd-Maske keinen Unterschied zwischen den beiden Experimenten ( $F = 1,9$ , n.s.). In allen anderen Aufgaben war die Nd-Maske in Experiment 3 kleiner als in Experiment 2. Besonders deutlich stellte sich dieser Effekt mit den Linienreizen in der Zielreiz-Reaktions-Aufgabe ( $F = 39,9$ ,  $p < 0,001$ ) dar, wo die Nd-Maske in Experiment 3 sogar ihre Polarität änderte, da die Negativierung mit der Linienmaske größer war als mit der Pfeilmaske. Aber auch in der Bahnungsreiz-Reaktions-Aufgabe mit den Linienreizen ( $F = 6,6$ ,  $p = 0,02$ ) und den Pfeilreizen ( $F = 10,7$ ,  $p = 0,004$ ) und tendenziell auch in der Zielreiz-Reaktions-Aufgabe mit den Pfeilreizen ( $F = 3,7$ ,  $p = 0,07$ ) war die Nd-Maske in Experiment 3 signifikant kleiner als in Experiment 2.

Bei der N1-Komponente (125–200 ms) war die Nd-Maske in allen Aufgaben beider Experimente durchweg präsent. In der Masken-Reaktions-Aufgabe und in den Linienrelevanten Aufgaben (Linien-Blöcke) war die Amplitude der Nd-Maske in beiden Experimenten gleichgroß ( $F < 0,3$  durchweg), in den Pfeil-relevanten Aufgaben (Pfeil-Blöcke) war sie jedoch in Experiment 3 kleiner als in Experiment 2 (Zielreiz-Reaktions-Aufgabe:  $F = 5,9$ ,  $p = 0,03$ ; Bahnungsreiz-Reaktions-Aufgabe:  $F = 8,2$ ,  $p = 0,01$ ).



Aufgabe:

Reaktion auf Maske      Reaktion auf Zielreiz      Reaktion auf Bahnungsreiz

Relevante Reize:

Pfeile      Linien      Pfeile      Linien

**Abbildung 9: Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse für die Nd-Maske der Experimente 2 und 3**

Die durchgezogenen Linien stellen die Nd-Maske aus Experiment 2 und die gestrichelten Linien die Nd-Maske aus Experiment 3 dar. Liegt die Nd-Maske im negativen Spannungsbereich (Amplitude nach oben), so hat die Pfeilmaske eine größere Negativierung im ERP ausgelöst als die Linienmaske. Verläuft die Nd-Maske in diesen Abbildungen umgekehrt im positiven Bereich (unter der x-Achse), so hat die Linienmaske eine größere Negativierung hervorgerufen als die Pfeilmaske.

Die obere Graphik stellt die Ergebnisse der Nd-Maske von 200 ms bis 500 ms dar. Man erkennt eine in Experiment 3 stets kleinere Nd-Maske als in Experiment 2. In Experiment 3 änderte die Nd-Maske im Linien-Block der Zielreiz-Reaktions-Aufgabe sogar ihre Polarität, d.h., die Negativierung war mit der Linienmaske größer als mit der Pfeilmaske.

Die untere Graphik stellt die Ergebnisse der Nd-Maske von 125 ms bis 200 ms (N1-Komponente) dar. Man erkennt eine gleich große Amplitude in der Masken-Reaktions-Aufgabe und in den Linien-Blöcken beider Experimente, wohingegen die Nd-Maske in den Pfeil-Blöcken sowohl bei Reaktion auf den Zielreiz als auch bei Reaktion auf den Bahnungsreiz in Experiment 2 größer war als in Experiment 3.

## **5 ABSCHLUSSDISKUSSION**

### **Zusammenfassung der Ergebnisse für die Nd-Maske**

Bestand die Maske aus Pfeilelementen, so löste sie im ERP in allen drei Experimenten an hinteren Elektrodenpositionen eine größere Negativierung aus als die Linienmaske.

Diese als Nd-Maske bezeichnete unterschiedliche Negativierung zwischen den Masken besteht aus zwei Komponenten: einem lang andauernden Potential von etwa 100 ms bis 500 ms und einer kurzfristigen unterschiedlichen Negativierung bei N1 (125–200 ms). Die kurzfristige Komponente wird wahrscheinlich hauptsächlich durch physikalische Unterschiede zwischen den Reizen ausgelöst (siehe unten) und ist somit exogen verursacht. Dahingegen wird die lang andauernde unterschiedliche Negativierung offensichtlich von der Aufgabenrelevanz der Masken beeinflusst und ist daher für den gegenwärtigen Zusammenhang von größerem Interesse. Am deutlichsten zeigt sich der Einfluss der Aufgabenrelevanz in Experiment 3, wo die Negativierung mit der Linienmaske größer wurde als mit der Pfeilmaske, so dass die Nd-Maske ihre Polarität änderte.

Andererseits löste die Pfeilmaske in der Masken-Reaktions-Aufgabe, in der nur die Masken präsentiert wurden, konstant eine größere Negativierung aus als die Linienmaske, so dass die beschriebene endogene Komponente auch eine exogene einzuschließen scheint.

### **Kurzfristige unterschiedliche Negativierung bei N1**

Die N1-Komponente war in Experiment 3 bei allen Aufgaben mit der Pfeilmaske größer als mit der Linienmaske. Diesem Effekt liegt höchstwahrscheinlich ein einfacher exogener Einfluss zugrunde, da die N1-Komponente üblicherweise größer ausfällt, wenn die Reize zentral statt peripher präsentiert werden (z.B., Miniussi, Rao und Nobre, 2002). Genau dieser Mechanismus könnte auch hier zum Tragen gekommen sein, denn die Pfeilmaske trifft exakt auf das Fixierkreuz in der Bildschirmmitte, wohingegen die Linienmaske diese

zentrale Stelle frei lässt. Dieser Unterschied zwischen der Pfeilmaske und der Linienmaske wurde in den Pfeil-Blöcken dadurch abgeschwächt, dass auch die Pfeil-Bahnungsreize auf das Fixierkreuz trafen. Demzufolge fiel der Unterschied der N1-Komponente zwischen der Pfeilmaske und der Linienmaske bei Pfeilrelevanz kleiner aus. Jedoch lässt sich diese Argumentation nicht für die Experimente 1 und 2 anwenden, denn obwohl hier sowohl die Pfeilmaske als auch die unregelmäßige Linienmaske die Stelle am Fixierkreuz besetzten, fiel die N1-Komponente mit der Pfeilmaske größer aus.

### **Effekte der Reizrelevanz auf die Nd-Maske**

Die Effekte, die die Reizrelevanz auf die Nd-Maske ausübt, ähneln bezüglich der Topografie, ihres zeitlichen Verlaufes und ihrer auslösenden Bedingungen Relevanzeffekten, die bisher für andere Reize beschrieben wurden, z.B. der „Selection Negativity“ für relevante Ortsfrequenzen (deutliche Negativierung bei 150 ms, wenn die Aufmerksamkeit auf Reize einer bestimmten Ortsfrequenz gerichtet wurde) (Martínez et al., 2001) und der „relevant orientation distractors-related negativity“, einer Negativierung bei 140–300 ms, hervorgerufen von ablenkenden Reizen, die sich mit dem Zielreiz relevante Elemente teilten und entweder die gleiche oder die entgegengesetzte Ausrichtung wie der Zielreiz hatten (größere Negativierung bei identischer Ausrichtung von ablenkenden Reizen und Zielreiz) (Hopf, Boelmans, Schoenfeld, Luck und Heinze, 2004). Sowohl Martínez et al. (2001) als auch Hopf et al. (2004) lieferten Belege dafür, dass diese Effekte in relativ frühen visuellen Gebieten des vorderen Stromgebiets lokalisiert waren. Sie spiegeln einen „Merkmals-Auswahl-Prozess“ wider, der von der Übereinstimmung wahrgenommener Merkmale mit dem Zielreiz abhängt (Hopf et al., S. 1831).

Eine weitere Parallele lässt sich zwischen der Nd-Maske und der N170-Komponente ziehen, die bei der Wahrnehmung von Gesichtern (unabhängig davon, ob diese fremd oder

bekannt sind) und vertrauten Objekten registriert werden kann (Tanaka und Curran, 2001; Gauthier, Curran, Curby und Collins, 2003). In diesen Studien folgte der N170-Komponente eine mehrere Hundert Millisekunden andauernde Negativierung, die für den gegenwärtigen Zusammenhang von besonderem Interesse ist, da sie bezüglich ihres zeitlichen Verlaufes und ihrer Topografie der Nd-Maske ähnelt. Die Autoren machten jedoch zwischen der kurzen N170-Komponente und der darauf folgenden längeren Negativierung keinen Unterschied und betrachteten stattdessen den gesamten Komplex als ein ERP-Äquivalent der ganzheitlichen Verarbeitung der klaren vertrauten Gestalt der Objekte. Es gibt eine anhaltende Debatte darüber, ob das N170-Potential, das von vertrauten Objekten hervorgerufen wird, das gleiche ist wie das N170-Potential, das bei der Gesichterwahrnehmung registriert wird (Carmel und Bentin, 2002; Xu, Liu und Kanwisher, 2005). Die dem N170-Potential folgende anhaltende Negativierung blieb jedoch bis jetzt im Allgemeinen unerwähnt und undiskutiert, obwohl sie sich sogar in verschiedenen Studien anders verhielt als das N170-Potential. Während das N170-Potential beispielsweise bei der Wahrnehmung von um 180° gedrehten Gesichtern etwas größer ausfällt als bei aufrechten Gesichtern (Rossion, Delvenne, Debatisse, Goffaux, Bruyer, Crommelinck und Guérit, 1999; Eimer, 2000; James, Johnstone und Hayward, 2001; Sagiv und Bentin, 2001; Itier, Taylor und Lobaugh, 2004), war die folgende andauernde Negativierung vornehmlich bei der Wahrnehmung aufrechter Gesichter größer als bei um 180° gedrehten Gesichtern (Eimer, 2000, Abb.1; Sagiv und Bentin, 2001), wenn beide keine Zielreize waren und die Verarbeitung der Gestalt demnach spontan erfolgte. Das N170-Potential fällt bei der Wahrnehmung von Gesichtern größer aus als bei Blumen, während die lang andauernde Negativierung bei beiden Reizen gleichermaßen erhöht wird, und zwar mehr als bei unidentifizierbaren Mustern (Sagiv und Bentin, 2001). Während sich das N170-Potential nicht von der Aufgabenrelevanz der Gesichter beeinflussen ließ,



kam es hingegen zu einer Erhöhung der fortdauernden Negativierung, wenn Gesichter aufgabenrelevant waren (Carmel und Bentin, 2002).

Aus den geschilderten Ergebnissen und denen der vorliegenden Studie ergibt sich für die Nd-Maske die Schlussfolgerung, dass sie die Wahrnehmung des klaren eindeutigen Musters in der präsentierten Maske widerspiegelt. Der unterschiedlichen Negativierung zwischen der Pfeilmaske und der Linienmaske, die sogar in der Vergleichsbedingung (Masken-Reaktions-Aufgabe) besteht, könnte somit anstelle einfacher grundlegender Reizmerkmale eher das unterschiedliche Herausragen der Gestalt der Masken zugrunde liegen. Somit könnte die „exogene“ Komponente eigentlich eine endogene sein. Die Zunahme der Nd-Maske bei Aufgabenrelevanz der Pfeile spiegelt den Effekt wider, dass die Gestalt der Pfeile im Mittelpunkt der Aufmerksamkeit der Versuchsteilnehmer stand. Dass die Nd-Maske in Experiment 3 durchweg kleiner war als in Experiment 2, reflektiert die Tatsache, dass der Kontrollstimulus in Experiment 3, anders als in Experiment 2, eine ebenso deutliche Gestalt hatte wie die Pfeilmaske. Solange diese neue Gestalt des Kontrollreizes jedoch noch nicht aufgabenrelevant war, blieb ein Vorsprung für die gut bekannte Gestalt der Pfeile erhalten. Als der Kontrollstimulus allerdings aufgabenrelevant wurde, war seine deutliche Gestalt sogar in der Lage, eine größere Negativierung auszulösen als die Pfeilmaske, so dass sich die Polarität der Nd-Maske änderte. Der Vorteil dieses Gestalt-Konzeptes besteht somit darin, dass sowohl der konstante Vorteil der Pfeile als auch die Effekte der Reizrelevanz zu einem Konzept zusammengefasst werden können.

### **Effekte auf das Verhalten**

Ergänzend zu den Variationen der Nd-Maske sind die Bahnungsreizeffekte auf die Reaktionszeiten und Fehlerquoten ebenso wie die Sichtbarkeit der Bahnungsreize mit den unterschiedlichen Bahnungsreiz-Masken-Kombinationen für die anhaltende Diskussion

über die an der maskierten Bahnung beteiligten Mechanismen von Interesse (Eimer und Schlaghecken, 2002; Klapp und Hinkley, 2002; Lleras und Enns, 2004; Verleger et al., 2004; Praamstra und Seiss, 2005). Im Folgenden werden die Ergebnisse für die seit Eimer und Schlaghecken (1998) in zahlreichen Studien verwendeten Pfeilreize und für die in diesem Zusammenhang bisher noch nicht gebrauchten Linienreize getrennt diskutiert.

*Pfeilreize:* Mit den Pfeilen war der inverse Bahnungseffekt, wie er zuerst von Eimer und Schlaghecken (1998) beschrieben wurde, in allen drei Experimenten signifikant: Bei kongruenten Bahnungs- und Zielreizen waren die Reaktionszeiten verzögert und die Fehlerquote erhöht. Das Ausmaß des inversen Bahnungseffektes wurde von der Art der Maske (Pfeil- oder Linienmaske) und der Bildschirmwiederholfrequenz modifiziert.

*Maskeneffekte:* Erfolgte die Maskierung der Pfeil-Bahnungsreize mit der Linienmaske (sowohl die unregelmäßige Linienmaske aus Experiment 1 und 2 als auch die strukturierte Linienmaske aus Experiment 3), erreichte der inverse Bahnungseffekt in allen drei Experimenten weniger Signifikanz als mit der Pfeilmaske.

Bezieht man sich auf die Hypothesen von Verleger et al. (2004) und Lleras und Enns (2004), könnte man diese Reduktion des inversen Bahnungseffektes damit begründen, dass nur die Pfeilmaske, nicht jedoch die Linienmaske eine dem Pfeilbahnungsreiz entgegengesetzte Wahrnehmung auslöst. Laut Schlaghecken und Eimer (2002) könnte dem reduzierten inversen Bahnungseffekt eher eine uneffiziente Maskierung mit der Linienmaske zugrunde liegen, so dass der bewusste Wahrnehmungseindruck des Bahnungsreizes den hemmenden Prozess überwinden konnte. Tatsächlich wurden die Bahnungsreize zugunsten der Hypothese von Schlaghecken und Eimer (2002) mit der Linienmaske in allen drei Experimenten besser als per Zufall identifiziert. Dennoch widerlegt dieser Effekt nicht unbedingt die alternative Hypothese, die besagt, dass die

Sichtbarkeit des Bahnungsreizes ein weniger entscheidender Faktor ist als die Empfindung, die von der Bahnungsreiz-Masken-Interaktion ausgelöst wird.

Zugunsten dieses Argumentes verlief die Identifikationsleistung in Experiment 2: Bei Maskierung mit der Pfeilmaske reagierten die Versuchspersonen systematisch falsch auf die Pfeil-Bahnungsreize. Diese schwache, aber systematische Tendenz zur falschen Reaktion stimmt gut mit der Annahme überein, dass die Pfeilmaske eine schwache Empfindung in die dem Bahnungsreiz entgegengesetzte Richtung auslöst. In Experiment 3 wurde eine Tendenz ähnlichen Ausmaßes nicht signifikant, so dass die Befundlage noch ungewiss bleibt. Bezieht man sich wie in einigen vorherigen Arbeiten (Lleras und Enns, 2004; Verleger et al., 2004) auf diese Hypothese, so stimmten die gegenwärtigen Ergebnisse im besten Falle nur mäßig mit der Annahme überein (Klapp und Hinkley, 2002), dass der inverse Bahnungseffekt mit unbewusster Wahrnehmung und der direkte Bahnungseffekt mit bewusster Wahrnehmung zusammenhängen. Diese Vorstellung wurde jedoch dadurch bestätigt, dass tatsächlich bei Maskierung mit der Linienmaske in allen drei Experimenten der inverse Bahnungseffekt nicht signifikant war und auch die Bahnungsreize besser als per Zufall identifiziert werden konnten. Andererseits blieb der inverse Bahnungseffekt in Experiment 3 sogar bei einer Sichtbarkeit der Bahnungsreize von 78 % signifikant, so dass diese angeblich unbewusst wahrgenommen wurden.

Effekte der Bildschirmwiederholffrequenz: Wurden die Bahnungsreize statt für 14 ms für 17 ms präsentiert, war der inverse Bahnungseffekt auf die Reaktionszeiten ausgeprägter. Dieser Effekt stimmt sogar mit beiden Hypothesen überein, da die Bahnungsreize eine gewisse Wahrnehmungsstärke benötigen könnten, um entweder den Hemmungsprozess oder die Wahrnehmungsinteraktion mit der Maske hervorzurufen.

*Linienreize:* Die Linien-Bahnungsreize wurden in den meisten Fällen besser als per Zufall identifiziert (ca. 40 % Fehler), wenn sie von der Pfeilmaske (Experiment 2 und 3) und von

der unregelmäßigen Linienmaske (Experiment 2) maskiert wurden. Nur mit der strukturierten Linienmaske (Experiment 3) belief sich die Identifikation der Linien-Bahnungsreize auf Zufallsniveau. Die Effekte der Linien-Bahnungsreize auf die Reaktionszeiten verliefen parallel zur Identifikationsleistung: In den meisten Fällen wurde der inverse Bahnungseffekt signifikant, nämlich wenn Linien-Bahnungsreize von der Pfeilmaske maskiert wurden (Experiment 2 und 3) oder von der unregelmäßigen Linienmaske (Experiment 2). Nur wenn Linien-Bahnungsreize von der strukturierten Linienmaske maskiert wurden, war kein inverser Bahnungseffekt nachweisbar. Somit wurde der inverse Bahnungseffekt hier von Bahnungsreizen verursacht, die besser als per Zufall identifiziert werden konnten. Dieses Ergebnis spricht stark gegen die oben genannte Annahme, dass der inverse Bahnungseffekt mit unbewusster Wahrnehmung verknüpft ist: Die Effekte der Linien-Bahnungsreize widersprechen dieser Norm.

Des Weiteren sind die Effekte der Linien-Bahnungsreize mit beiden erwähnten Darstellungen des inversen Bahnungseffektes mit den Pfeilstimuli nicht vereinbar. Die Zunahme des inversen Bahnungseffektes, wenn die Linien-Bahnungsreize sichtbar wurden, steht im Kontrast zu dem, was die Hemmungs-Hypothese mit den Pfeil-Bahnungsreizen dargelegt hat: Dort wurde behauptet, dass die anhaltende Empfindung den Hemmungsprozess überwinden würde. Die „aktive Maske“ bzw. „Merkmals-Aktualisierungs“-Hypothese geht davon aus, dass der inverse Bahnungseffekt durch Maskenelemente, die dem Bahnungsreiz ähneln, ins Spiel kommt. Die strukturierte Linienmaske aus Experiment 3, die diese Elemente am deutlichsten enthielt, in der gleichen Weise wie die Pfeilmaske für die Pfeilstimuli, induzierte dennoch keinen inversen Bahnungseffekt, während solche Masken, die nicht ganz klar Elemente der Linien-Bahnungsreize enthielten (Pfeilmaske und unregelmäßige Linienmaske), hingegen den inversen Bahnungseffekt induzierten. Somit sind die existierenden Hypothesen über den

inversen Bahnungseffekt offensichtlich nur auf die Pfeilstimuli anwendbar und reichen nicht aus, um die volle Reichweite dieser Phänomene zu erklären.

### **Nd-Maske und inverser Bahnungseffekt**

Die gegenwärtigen Ergebnisse unterstützen die Voraussetzungen für die Behauptungen, die sowohl von Verleger et al. (2004) als auch von Lleras und Enns (2004) zur Erklärung des inversen Bahnungseffektes gemacht wurden. Verleger et al. (2004) stellten die Hypothese auf, dass der inverse Bahnungseffekt aufgrund der speziellen Eigenschaften der Pfeilstimuli zustande kommt, die automatisch eine richtungsbezogene Verarbeitung induzieren, so dass die Maske, die aus nach links und nach rechts weisenden Pfeilpaaren besteht, eine Verarbeitung in beide Richtungen auslöst. Die Nd-Maske weist in der Tat darauf hin, dass Pfeilstimuli anders verarbeitet werden als andere Reize, die eine weniger strukturierte und weniger bekannte Gestalt aufweisen. Lleras und Enns (2004) erbrachten Belege, dass aufgabenrelevante Merkmale der Masken einer privilegierten Verarbeitung unterliegen und die Ursache des inversen Bahnungseffektes bilden. In der Tat wurde die Nd-Maske durch die Aufgabenrelevanz der Reize erhöht.

Wenn Bahnungs- und Zielreize Pfeile waren, änderten sich die Nd-Maske und der inverse Bahnungseffekt in paralleler Weise: Die Pfeilmaske löste mehr Negativität aus als die Linienmaske, dementsprechend war auch der inverse Bahnungseffekt mit der Pfeilmaske stärker ausgeprägt als mit der Linienmaske. Demnach könnte es den Anschein haben, dass die Nd-Maske das Ausmaß des inversen Bahnungseffekts voraussagt. Die Nd-Maske und der inverse Bahnungseffekt verhielten sich jedoch unterschiedlich, wenn Bahnungs- und Zielreize von Linien gebildet wurden: Wieder spiegelte die Nd-Maske die Gestalt und Aufgabenrelevanz wider, indem sie bei der Maskierung der Linien mit der Linienmaske mehr Negativierung erreichte als mit der Pfeilmaske. Wie bereits in den

Verhaltensergebnissen erwähnt, variierte das Ausmaß des inversen Bahnungseffektes auf unerwartete Art und Weise, denn wenn Linien von Linien maskiert wurden, war der inverse Bahnungseffekt weniger ausgeprägt, als wenn Linien von Pfeilen maskiert wurden. Dieser Effekt stimmt nicht mit den Effekten überein, die aufgrund der Gestalt, Aufgabenrelevanz und Hemmungshypothese vorausgesagt wurden, und verhält sich demnach entgegengesetzt zu den Effekten, die man aufgrund der Nd-Maske erwartet hätte. Abschließend bleiben die Bestimmungsgrößen des inversen Bahnungseffektes nur unzureichend verstanden. Pfeile unterliegen einer speziellen Verarbeitung (Verleger et al., 2004), wie es die Nd-Maske widerspiegelt. Die Maskenrelevanz nimmt Einfluss auf den Verarbeitungsprozess (Lleras und Enns, 2004), wie es die Effekte der Reizrelevanz auf die Nd-Maske widerspiegeln, und auch die Sichtbarkeit des Bahnungsreizes ist zweifellos ein wichtiger Faktor (Eimer und Schlaghecken, 2002). Wenn man jedoch die Effekte der Linien, die von doppelten Linien maskiert wurden, mit diesen Faktoren zu erklären versucht, stößt man auf Probleme. Entsprechend den in anderen Zusammenhängen beschriebenen lang andauernden Negativierungen an hinteren Elektrodenpositionen könnte die Nd-Maske die Wahrnehmung klarer, deutlicher Formen widerspiegeln.

## 6 ZUSAMMENFASSUNG

Im Mittelpunkt dieser Arbeit steht ein über der Sehrinde abgeleitetes anhaltendes negatives EEG-Potential, das von Reizen ausgelöst wird, die aus der Überlagerung von nach rechts und links zeigenden Pfeilen bestehen. Es wurde untersucht, ob dieses EEG-Potential eine obligate Reaktion auf die Wahrnehmung der Pfeile ist, oder ob es von ihrer Aufgabenrelevanz abhängt.

Dazu wurden drei Experimente konzipiert, die an jeweils einem Dutzend studentischer Versuchsteilnehmer durchgeführt wurden. Jeder Versuchsteilnehmer saß alleine in einem abgedunkelten Raum vor einem Monitor, auf dem visuelle Reize präsentiert wurden. Während der Experimente wurden die Hirnströme mit einem Elektroencephalogramm (EEG) von der Kopfhaut abgeleitet. Die visuellen Reize waren Pfeile und Linien, die nach rechts und links zeigten. Ein kurz präsentierter Reiz (Bahnungsreiz) wurde von einer direkt folgenden Maske für den Betrachter unsichtbar gemacht. Auf einen folgenden sichtbaren Reiz (Zielreiz) sollte der Versuchsteilnehmer auf einer Tastatur mit Rechts- und Linksdruck reagieren. Die von der Maske ausgelösten EEG-Potentiale waren Gegenstand dieser Arbeit.

In Experiment 1 waren Bahnungs- und Zielreize Pfeile. Zwei unterschiedliche Masken – eine Pfeilmaske, die aus der Überlagerung der nach links und rechts zeigenden Pfeile bestand, und eine Linienmaske als eine Konstruktion aus sich überkreuzenden horizontalen und vertikalen Linien – folgten dem Bahnungsreiz in Zufallsfolge. Um die Aufgabenrelevanz der Linienmaske zu erhöhen, wurde in Experiment 2 ein neuer Bahnungsreiz (und Zielreiz) eingeführt, der aus Linien bestand und sich demnach Eigenschaften mit der Linienmaske teilte. Hier und in Experiment 3 gab es eine weitere Aufgabe, in der nur die Masken in Zufallsfolge präsentiert wurden.

In Experiment 3 wurde die Linienmaske durch eine andere ersetzt, die eine ebenso klare Form hatte wie die Pfeilmaske. Diese neue Linienmaske stand in der gleichen logischen Beziehung zu den Linienreizen wie die Pfeilmaske zu den Pfeilreizen.

Wurden nur die Masken präsentiert, so löste die Pfeilmaske immer eine größere Negativierung aus als die Linienmaske. Ursache dieser unterschiedlichen Negativierung könnte das klare und gut bekannte Muster der Pfeilmaske sein, die daher mehr Aufmerksamkeit auf sich zieht als die Linienmaske. In Experiment 3, in dem die Linienmaske ein ebenso klares und eindeutiges Muster wie die Pfeilmaske hatte, war der Unterschied in der Negativierung kleiner. Das vertraute Muster der Pfeile löste jedoch weiterhin eine größere Negativierung aus. Offensichtlich spielt aber auch die Aufgabenrelevanz eine Rolle, denn als die neue Linienmaske in Experiment 3 aufgabenrelevant wurde, war die Negativierung sogar größer als mit der Pfeilmaske.

Daher zeigte sich die anhaltende Negativierung als EEG-Potential, das von Reizen mit klarer und vertrauter Gestalt hervorgerufen, aber auch durch Relevanz moduliert wird. Damit bildete dieses Potential ein anschauliches Maß für die Beeinflussung der visuellen Verarbeitung durch früh erlernte, fest installierte Sehgewohnheiten einerseits und durch aktuelle Erfordernisse andererseits.



## 7 LITERATURVERZEICHNIS

- Aron, A.R., Schlaghecken, F., Fletcher, P.C., Bullmore, E.T., Eimer, M., Barker, R., Sahakian, B.J., Robbins, T.W. (2003): Inhibition of subliminally primed responses is mediated by the caudate and thalamus: Evidence from functional MRI and Huntington's disease. *Brain*, 126, 713–723.
- Carmel, D., Bentin, S. (2002): Domain specificity versus expertise: factors influencing distinct processing of faces. *Cognition*, 83, 1–29.
- Carriero, L., Vasile, E., Budai, R., Weiss, L., Battaglini, P.P. (2004): Arrows indicating direction modulate N1 amplitude. Posterpräsentation auf der 14. internationalen Konferenz für Evozierte Potentiale, Leipzig, 28.–31. März 2004.
- Cheesman, J., Merikle, P.M. (1984): Priming with and without awareness. *Perception & Psychophysics*, 36, 387–395.
- Cooper, R., Osselton, J.W., Shaw, J.C.: *Elektroenzephalographie*. Gustav Fischer Verlag Stuttgart, 3. Auflage, 1984, 1. Kapitel, S. 1.
- Eimer, M. (1999): Facilitatory and inhibitory effects of masked prime stimuli on motor activation and behavioural performance. *Acta Psychologica*, 101, 293–313.
- Eimer, M. (2000): Effects of face inversion on the structural encoding and recognition of faces: evidence from event-related brain potentials. *Cognitive Brain Research*, 10, 145–158.
- Eimer, M., Schlaghecken, F. (1998): Effects of masked stimuli on motor activation: behavioral and electrophysiological evidence. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 24, 1737–1747.
- Eimer, M., Schlaghecken, F. (2002): Links between conscious awareness and response inhibition: Evidence from masked priming. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9, 514–520.

- Enns, J.T., Di Lollo, V. (2000): What's new in visual masking? *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 345–352.
- Gauthier, I., Curran, T., Curby, K.M., Collins, D. (2003): Perceptual interference supports a non-modular account of face processing. *Nature Neuroscience*, 6, 428–432.
- Hopf, J.-M., Boelmans, K., Schoenfeld, M.A., Luck, S.J., Heinze, H.-J. (2004): Attention to features precedes attention to locations in visual search: evidence from electromagnetic brain responses in humans. *The Journal of Neuroscience* 24:1822–1832.
- Itier, R.J., Taylor, M.J., Lobaugh, N.J. (2004): Spatiotemporal analysis of event-related potentials to upright, inverted, and contrast-reversed faces: Effects on encoding and recognition. *Psychophysiology*, 41, 643–653.
- James, M.S., Johnstone, S.J., Hayward, W.G. (2001): Event-related potentials, configural encoding, and feature-based encoding in face recognition. *Journal of Psychophysiology*, 15, 275–285.
- Jaśkowski, P., Przekoracka-Krawczyk, A. (2005): On the role of mask structure in subliminal priming. *Acta Neurobiological*, 65, 409–417.
- Jaśkowski, P., Skalska, B., Verleger, R. (2003): How the self controls its “automatic pilot” when processing subliminal information. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15, 911–920.
- Kenemans, J.L., Baas, J.M.P., Mangun, G.R., Lijffijt, M., Verbaten, M.N. (2000): On the processing of spatial frequencies as revealed by evoked-potential source modeling. *Clinical Neurophysiology*, 111, 1113–1123.
- Kenemans, J.L., Kok, A., Smulders, F.T.Y. (1993): Event-related potentials to conjunctions of spatial frequency and orientation as a function of stimulus parameters and response requirements. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 88, 51–63.

- Klapp, S.T., Hinkley, L.B. (2002): The negative compatibility effect: unconscious inhibition influences reaction time and response selection. *Journal of Experimental Psychology: General*, 131, 255–269.
- Klotz, W., Neumann, O. (1999): Motor activation without conscious discrimination in metacontrast masking. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25, 976–992.
- Lleras, A., Enns, J.T. (2004): Negative compatibility or object updating? A cautionary tale of mask-dependent priming. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133, 475–493.
- Lingnau, A., Vorberg, D. (2005): The time-course of response inhibition in masked priming. Manuscript submitted for publication
- Martínez, A., Di Russo, F., Anllo-Vento, L., Hillyard, S.A. (2001): Electrophysiological analysis of cortical mechanisms of selective attention to high and low spatial frequencies. *Clinical Neurophysiology*, 112, 1980–1998.
- Maurer, K., Lowitzsch, K., Stöhr, M.: *Evozierte Potentiale*. Enke-Verlag, Stuttgart, 1. Auflage, 1988, 2. Kapitel, S. 67.
- Miniussi, C., Rao, A., Nobre, A.C. (2002): Watching where you look: modulation of visual processing of foveal stimuli by spatial attention. *Neuropsychologia*, 40, 2448–2460.
- Neundörfer, B.: *EEG-Fibel*. Urban & Fischer Verlag, München, 5.Auflage, 2002, 1. Kapitel, S. 1.
- Neumann, O., Klotz, W. (1994): Motor responses to nonreportable, masked stimuli: Where is the limit of direct parameter specification? In: C. Umiltà & M. Moskovich (Eds.), *Attention and performance XV*, 123–150.
- Praamstra, P., Seiss, E. (2005): The neurophysiology of response competition: motor cortex activation and inhibition following subliminal response priming. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17, 483–493.

- Reinvang, I., Magnussen, S., Greenlee, M.W. (2002): Hemispheric asymmetry in visual discrimination and memory: ERP evidence for the spatial frequency hypothesis. *Experimental Brain Research*, 144, 483–495.
- Rossion, B., Delvenne, J.-F., Debatisse, D., Goffaux, V., Bruyer, R., Crommelinck, M., Guérit, J.-M. (1999): Spatio-temporal localization of the face inversion effect: an event-related potentials study. *Biological Psychology*, 50, 173–189.
- Sagiv, N., Bentin, S. (2001): Structural encoding of human and schematic faces: holistic and part-based processes. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13, 937–951.
- Schlaghecken, F., Eimer, M. (2002): Motor activation with and without inhibition: Evidence for a threshold mechanism in motor control. *Perception & Psychophysics*, 64, 148–162.
- Schmidt, R.F., Thews, G., Lang, F.: *Physiologie des Menschen*. Springer-Verlag, Berlin, 28. Auflage, 2000, 6. Kapitel, S. 128, 7. Kapitel, S.141.
- Schubö, A., Schlaghecken, F., Meinecke, C. (2001): Learning to ignore the mask in texture segmentation tasks. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 919–931.
- Stern, J.A., Walrath, L.C., Goldstein, R. (1984): The endogenous eyeblink. *Psychophysiology*, 21, 22–33.
- Stöhr, M.: *Evozierte Potentiale*. Springer-Verlag, Berlin, 2. Auflage, 1989, 3. Kapitel, S. 279.
- Tanaka, J., Curran, T. (2001): A neural basis for expert object recognition. *Psychological Science*, 12, 43–47.
- Verleger, R., Jaśkowski, P., Aydemir, A., van der Lubbe, R.H.J., Groen, M. (2004): Qualitative differences between conscious and non-conscious processing? On inverse priming induced by masked arrows. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133, 494–515.

- Vollmer-Brüggemann, C. (2002): *Automatische Aktivierung von Informationen durch ein Pfeilsymbol als Warnreiz?* Inauguraldissertation, Medizinische Fakultät der Universität zu Lübeck.
- Xu, Y., Liu, J., Kanwisher, N. (2005): The M170 is selective for faces, not for expertise. *Neuropsychologia*, 43, 588–597.
- Zani, A., Proverbio, A.M. (2002): Electromagnetic Manifestations of Mind and Brain. In Zani, A., Proverbio, A.M. (Eds.): *The Cognitive Electrophysiology of Mind and Brain*. Academic Press, San Diego / London, 13–36.

## **8 ANHANG**

### **8.1 Abkürzungsverzeichnis**

EEG	Elektroencephalogramm
EOG	Elektrookulogramm
EP	Evozierte Potentiale
ERP	Ereigniskorrelierte Potentiale
hEOG	horizontales Elektrookulogramm
LRP	Lateralisiertes Bereitschaftspotential
vEOG	vertikales Elektrookulogramm
VEP	Visuell evoziertes Potential

## 8.2 DANKSAGUNG

Ich bedanke mich bei meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Rolf Verleger für seine engagierte Betreuung, sowohl während der experimentellen Untersuchungen als auch beim Niederschreiben dieser Arbeit. Seiner Bereitschaft zur zeitnahen Beantwortung meiner Fragen und seinem Korrekturlesen verdanke ich mein zügiges Vorankommen. Bei Herrn Prof. Dr. Kömpf möchte ich mich für die Bereitstellung der Räumlichkeiten und der Materialien bedanken. Für die Mithilfe bei der Erstellung des Computerprogramms und die Einführung in dieses bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr. Piotr Jaskowski.

Ein besonderer Dank gilt meinen Eltern Maria und Franz Görgen für ihre Unterstützung und Rückenstärkung während meines gesamten Medizinstudiums, ebenfalls meinem Freund Thomas für seine stets motivierenden Worte und sein Verständnis, aber auch für seine engagierte Mithilfe bei der Suche nach den Probanden.

Ich bedanke mich außerdem bei meinen Probanden, deren gewissenhafter Mitarbeit ich meine Ergebnisse mitzuverdanken habe.

## 8.3 LEBENSLAUF

### Persönliche Angaben

---

Geburtsdatum: 09. Januar 1978

Geburtsort: Braunschweig

### Promotion

---

Nov. 2003 – Dez. 2004 Durchführung der experimentellen Arbeit

### Schule & Studium

---

April 2007 Dritter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

März 2006 Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

Aug. 2003 Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

Sep. 2002 Ärztliche Vorprüfung

seit Okt. 2000 Studium der Humanmedizin

an der Universität zu Lübeck

Okt. 1999 – März 2000 Studium der Sozialwissenschaften

an der Georg-August-Universität Göttingen

Juli 1999 Abitur am Gymnasium Soltau