

Einfluss zeitlicher Aufmerksamkeits- Orientierung auf die Verarbeitung akustischer Reize

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Alexa Larissa Lampar

aus Duisburg

Düsseldorf, November 2011

aus dem Institut für Experimentelle Psychologie
der Heinrich-Heine Universität Düsseldorf

Gedruckt mit der Genehmigung der
Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Referent: Prof. Dr. Martin Heil
Korreferent: Prof. Dr. Philipp Hammelstein

Tag der mündlichen Prüfung: 13.01.2012

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	6
Abstract.....	8
1 Einleitung	10
1.1 Selektive Aufmerksamkeit.....	10
1.1.1 Theorien der selektiven Aufmerksamkeit	12
1.1.1.1 Frühes Selektionsmodell (Broadbent).....	13
1.1.1.2 Dämpfungsmodell (Treisman).....	14
1.1.1.3 Spätes Selektionsmodell (Deutsch & Deutsch).....	16
1.1.2 Bewertung der Modelle	16
1.1.3 Experimentelle Operationalisierung selektiver Aufmerksamkeit	17
1.1.3.1 Verhaltensdaten	18
1.1.3.2 Ereigniskorrelierte Potentiale	18
1.2 Selektive räumliche Aufmerksamkeit.....	23
1.2.1 Cueing-Paradigma	23
1.2.2 Aufmerksamkeit als Lichtkegel (<i>Spotlight</i>)	25
1.2.3 Aufmerksamkeit als Gummilinse (<i>Zoom lens</i>).....	27
1.2.4 Aufmerksamkeit als Filter oder Lichtkegel.....	27
1.2.5 Hillyard-Paradigma.....	28
1.2.6 Zusammenfassung der Befunde zur räumlichen Aufmerksamkeit....	30
1.3 Selektive zeitliche Aufmerksamkeit.....	31
1.3.1 Zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung	31
1.3.2 Zeitliches Cueing-Paradigma	32
1.3.3 Vergleich der Wirkungsweise selektiver räumlicher und zeitlicher Aufmerksamkeit.....	35
1.3.4 EKP-Befunde zum zeitlichen Cueing	37
1.3.5 Das zeitliche Hillyard-Paradigma	46
1.3.6 EKP-Befunde zum zeitlichen Hillyard-Paradigma	48
1.3.7 Zusammenfassung der Befunde zur selektiven zeitlichen Aufmerksamkeit.....	50
1.4 Entwicklung der Fragestellung.....	51
1.5 Fragestellung und Zielsetzung der Studien	53

2	Experiment 1.....	56
2.1	Einleitung	56
2.2	Methoden	59
2.2.1	Stichprobe	59
2.2.2	Stimulus-Material und Aufgabe	59
2.2.3	Durchführung	61
2.2.4	EEG-Aufnahme	62
2.2.5	Datenanalyse	62
2.2.5.1	Verhaltensdaten	63
2.2.5.2	Analyse der EKP-Daten	63
2.3	Ergebnisse.....	66
2.3.1	Verhaltensdaten	66
2.3.2	EKP-Daten	67
2.3.2.1	Cue-EKP	68
2.3.2.2	Target-EKP.....	69
2.4	Diskussion	71
3	Experiment 2.....	76
3.1	Einleitung	76
3.2	Methoden.....	80
3.2.1	Stichprobe	80
3.2.2	Stimulus-Material und Aufgabe	81
3.2.3	Durchführung Verhaltensexperiment.....	81
3.2.4	Durchführung EEG-Experiment.....	82
3.2.5	EEG-Aufnahme und Auswertung	84
3.3	Ergebnisse.....	86
3.3.1	Verhaltensdaten	86
3.3.2	EKP-Daten	88
3.3.2.1	Cue-EKP	88
3.3.2.2	Non-Target-EKP.....	90
3.4	Diskussion	93
4	Gesamtdiskussion	98
4.1	Hintergrund und Zielsetzung der Studie	98
4.2	Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse.....	100
4.2.1	Verhaltensdaten	100

4.2.2	EKP-Daten	102
4.2.2.1	N1.....	103
4.2.2.2	P300	108
4.2.2.3	CNV.....	110
4.3	Einordnung in den Kontext selektiver Aufmerksamkeit und Ausblick	110
5	Literaturverzeichnis.....	113
6	Anhang	122

Zusammenfassung

Das Ausrichten der Aufmerksamkeit auf einen bestimmten Zeitpunkt, an dem ein relevantes Ereignis erwartet wird (zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung), führt zu einer verbesserten Reizverarbeitung: Versuchspersonen reagieren schneller auf Reize, die zu einem beachteten Zeitpunkt auftreten als auf Reize, die zu einem nicht beachteten Zeitpunkt erscheinen. Studien, welche ereigniskorrelierte Potentiale (EKP) untersuchten, berichteten widersprüchliche Befunde bezüglich der elektrophysiologischen Korrelate dieser verbesserten Reizverarbeitung und leiteten somit kontroverse Annahmen darüber ab, welche Ebene der Reizverarbeitung von zeitlicher Aufmerksamkeit moduliert wird. Während einige Studien ausschließlich Modulationen spät im EKP (im Zeitbereich der N2- und der P300-Komponente) berichteten und somit für eine Beeinflussung vornehmlich später Prozesse – etwa der Reaktionsauswahl oder der Reaktionsvorbereitung – sprechen, konnte in anderen Studien zusätzlich Modulationen früher EKP-Komponenten (P1 und N1) nachgewiesen werden, welche die Vermutung nahe legen, dass auch frühe, sensorische Prozesse der Reizverarbeitung dem Einfluss zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung unterliegen. In der vorliegenden Arbeit sollte der Einfluss verschiedener Faktoren auf das Auftreten früher Aufmerksamkeitseffekte bei der Verarbeitung akustischer Reize durch zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung anhand von Verhaltens- und EKP-Daten untersucht werden. Hierzu wurde ein Cueing-Paradigma verwendet, in welchem ein Cue das Auftreten eines Targets an einem von zwei möglichen Zeitpunkten ankündigte. Die Aufmerksamkeit musste dabei für jedes Trial neu auf einen Zeitpunkt orientiert werden. In einem ersten Experiment sollten Versuchspersonen eine Wahlreaktionsaufgabe ausführen, auch invalide (unbeachtete) Reize erforderten dabei eine Reaktion und mussten somit ebenfalls verarbeitet werden. In einem zweiten Experiment wurde das Paradigma in eine Go/No-Go-Aufgabe abgewandelt, invalide Reize erforderten hier keine Reaktion und konnten somit ignoriert werden. Das ermöglichte eine stärker selektive Fokussierung der Aufmerksamkeit auf den zu beachtenden Zeitpunkt als in Experiment 1. Die Befunde der Verhaltensdaten zeigen einen Verarbeitungsvorteil valider (beachteter) gegenüber invalider (unbeachteter) Reize in Form kür-

zurer Reaktionszeiten. Die elektrophysiologischen Korrelate unterscheiden sich zwischen den Experimenten: Während im ersten Experiment lediglich eine Modulation der P300-Komponente beobachtet wurde, was für eine Beeinflussung ausschließlich später, reaktionsbezogener Verarbeitungsprozesse spricht, zeigte sich im zweiten Experiment zusätzlich eine Modulation der N1-Komponente, welche den Schluss nahe legt, dass auch frühe, sensorische Stufen der akustischen Reizverarbeitung beeinflusst wurden. Die Ergebnisse sprechen somit dafür, dass zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung nur dann frühe Prozesse der akustischen Reizverarbeitung beeinflusst, wenn die Fokussierung sehr selektiv geschieht, unbeachtete Reize also keinerlei Verarbeitung erfordern („selektive zeitliche Aufmerksamkeit“). Wenn hingegen auch der andere als der relevante Zeitpunkt beachtet werden muss („geteilte zeitliche Aufmerksamkeit“), werden ausschließlich späte, reaktionsassoziierte Prozesse moduliert.

Abstract

Directing attention to a point in time when a relevant event is expected (“temporal orienting”) improves stimulus processing. Subjects respond faster to stimuli that appear at an attended point in time as compared to stimuli that occur at an unattended point in time. Event-related-potential (ERP) studies report contradicting results concerning the electrophysiological correlates of this effect. It has therefore not been answered unequivocally which levels of stimulus processing are affected by temporal orienting of attention. While some studies report only modulations of late ERP components (i.e. the N2 and the P300) that are associated with response-decision or motor-preparation, others additionally report modulations of early ERP components (i.e. the N1 and the P1) implying that also sensory processing levels are affected. The aim of the present study was to investigate under which conditions temporal orienting affects early levels of auditory processing using reaction times (RTs) and ERP technique. An auditory temporal cueing-paradigm was applied in which a cue indicated the onset of a target-stimulus after one out of two possible time intervals. Attention was oriented in a trial-by-trial manner. In a first experiment, participants were asked to perform a choice reaction task on validly cued (attended) as well as invalidly cued (unattended) target-stimuli. Thus, also invalid stimuli needed to be processed. In the second experiment, the cueing task from Experiment 1 was slightly modified. Invalidly cued targets no longer required a response and therefore could be completely ignored. Hence, attention could be oriented more selectively to the attended point in time than in Experiment 1. The results revealed improved stimulus processing. Reaction times were faster for valid than for invalid stimuli. The electrophysiological results differed between the two experiments. While in Experiment 1 only a modulation of the P300 component was observed, indicating that only later levels of stimulus processing associated with response selection or motor preparation were affected, Experiment 2 showed additionally a modulation of the N1 component, suggesting that also early, sensory levels of auditory processing had been affected. The results thus imply that temporal orienting affects early levels of auditory processing only if attention can be focused selectively to the cued point in time (“selec-

tive temporal attention”). If, however, attention is divided between the cued and the uncued point in time (“divided temporal attention”), only later, response-related levels are affected.

1 Einleitung

Die alltägliche Stimulation durch eine Vielzahl an Reizen auf allen Sinnesmodalitäten, die nicht alle gleichzeitig verarbeitet werden können, erfordert eine Diskrimination und eine entsprechende Selektion relevanter Reize bei der Verarbeitung, um zielgerichtet handeln und reagieren zu können. Dies geschieht über die Zuwendung von Aufmerksamkeit. Bereits aus dem Zitat von William James (1890, pp. 403-404),

“Everyone knows what attention is. It is the taking possession by the mind, in clear and vivid form, of one out of what seem several simultaneously possible objects or trains of thought. Focalization, concentration of consciousness are of its essence. It implies withdrawal from some things in order to deal effectively with others (...)”,

lässt sich die Definition von Aufmerksamkeit als Selektionsmechanismus ableiten, also der Zuwendung kognitiver Ressourcen der Informationsverarbeitung auf bestimmte (relevante) Ereignisse bei gleichzeitiger Vernachlässigung anderer, weniger oder nicht relevanter Ereignisse (*selektive Aufmerksamkeit*).

Der Selektionsmechanismus der Aufmerksamkeit erlaubt es also, irrelevante Reize zu ignorieren, um somit die zur Verfügung stehenden Ressourcen der Reizverarbeitung auf die relevanten Ereignisse zu fokussieren. Im Folgenden soll nun zunächst ein Überblick über verschiedene Modelle selektiver Aufmerksamkeit gegeben werden und unterschiedliche experimentelle Vorgehensweisen zur Untersuchung von selektiver Aufmerksamkeit vorgestellt werden.

1.1 Selektive Aufmerksamkeit

Frühe Befunde der Forschung zur selektiven Aufmerksamkeit gehen vor allem aus den Studien zum *dichotischen Hören* (Cherry, 1953) hervor. Beim dichotischen Hören werden Versuchspersonen via Kopfhörer zwei verschiedene akustische Ereignisse (gesprochene Nachricht) simultan auf jeweils einem Ohr präsentiert. Die Aufgabe besteht darin, ein Ohr zu „beschatten“ (*shadowing*), also den Inhalt des Gehörten wörtlich nachzusprechen. Die Tatsache, dass gezeigt werden konnte, dass Versuchspersonen die Aufga-

be korrekt lösen konnten (also die beachtete Nachricht mit sehr geringer Fehlerquote nachsprechen konnten), entspricht zunächst einer empirischen Replikation eines Alltagsphänomens: Die Versuchspersonen waren in der Lage, aus zwei verschiedenen Informationsquellen ein relevantes (akustisches) Ereignis herausfiltern und ihre Aufmerksamkeit selektiv diesem Ereignis zuzuwenden. Es zeigte sich, dass von dem Inhalt der unbeachteten (auf dem anderen Ohr präsentierten) Nachricht kaum etwas reproduziert werden konnte. In verschiedenen Experimenten (Cherry, 1953) wurde untersucht, welche Eigenschaften der Nachricht auf dem unbeachteten Ohr von den Versuchspersonen bemerkt wurde, um so ein weiteres Verständnis über die Natur des Selektionsmechanismus der Aufmerksamkeit zu erhalten. So zeigte sich, dass ein Wechsel des Geschlechts des Sprechers auf dem irrelevanten Kanal bemerkt wurde, ebenso wurde der Unterschied zwischen gesprochener Sprache und einem 400 Hz-Ton bemerkt. Nicht bemerkt wurde ein Wechsel zu einer anderen Sprache bzw. der gleichen Sprache rückwärts dargeboten.

Zusammenfassend wurden die Ergebnisse dahingehend interpretiert, dass die Verarbeitung der Information aus dem irrelevanten Kanal scheinbar lediglich von einer Analyse physikalischer Merkmale gekennzeichnet sei. Details – wie einzelne Wörter und semantischer Inhalt – sollen nicht wahrgenommen werden.

In einer nachfolgenden Studie untersuchte Neville Moray (1959) noch einmal näher das Gedächtnis für die Information aus dem irrelevanten Kanal. Probanden wurden zwei unterschiedliche Nachrichten auf den beiden Ohren präsentiert. Beide Nachrichten wurden in derselben Stimme gesprochen, wobei der relevante Kanal beschattet werden sollte. In einigen Durchgängen wurde auf dem irrelevanten Kanal dieselbe Wortliste 35-mal wiederholt. In einem Rekognitionstest zeigte sich anschließend, dass sich die Wiedererkennungslleistung für diese Wörter nicht von solchen unterschied, die nicht präsentiert wurden.

Broadbent (1954) untersuchte die Verarbeitung simultan akustisch präsentierter Reize mit dem *Spilt-span-Paradigma*. Versuchspersonen wurde dabei eine Sequenz von Zahlenpaaren akustisch dargeboten, jeweils simultan eine Zahl auf dem rechten und eine auf dem linken Ohr (z.B. links/rechts: 7/2, 2/1, 3/5), mit der Aufgabe die Zahlen anschließend möglichst vollständig wiederzugeben. Die Versuchspersonen zeigten beim Abruf eine Präferenz dafür, die Zahlen geordnet nach dem jeweiligen Ohr wiederzuge-

ben (also: 7, 2, 3, 2, 1, 5 oder 2, 1, 5, 7, 2, 3) anstatt nach Darbietungspaaren (7, 2, 2, 1, 3,5). Aus diesen Befunden lässt sich ableiten, dass physikalische Merkmale (hier die räumliche Information) geeignete Hinweisreize darstellen, um Informationen zu diskriminieren.

Die Befunde aus den Experimenten mit der Beschattungsaufgabe und dem Split-span-Paradigma dienen mit als Grundlage zur Beurteilung, wie der Selektionsmechanismus der Aufmerksamkeit arbeitet.

1.1.1 Theorien der selektiven Aufmerksamkeit

Um zu verstehen, wie der Selektionsmechanismus der Aufmerksamkeit funktioniert, bedarf es einer Vorstellung darüber, auf welcher Stufe der Reizverarbeitung Selektion stattfindet, also wie weit unbeachtete Reize verarbeitet werden und darüber, anhand welcher Kriterien/Reizeigenschaften Informationen selektiert werden.

Es konnte gezeigt werden, dass sowohl räumliche Informationen (z.B. Broadbent, 1954; Cherry, 1953; Posner, 1980; Posner, Snyder, & Davidson, 1980) als auch zeitliche Informationen (z.B. Coull & Nobre, 1998; Miniussi, Wilding, Coull, & Nobre, 1999) genutzt werden können, um den Fokus der Aufmerksamkeit selektiv auszurichten. Inwiefern auch Reizeigenschaften, wie etwa Form und Farbe, geeignet sind, um den Aufmerksamkeitsfokus selektiv auf das relevante Merkmal auszurichten und inwiefern dies von der aktuellen Anforderung (Aufgabe) abhängt, wird hingegen kontrovers diskutiert, da die Befundlage diesbezüglich uneindeutig erscheint (vergleiche z.B. Folk, Remington, & Johnston, 1992; Theeuwes, 1989).

Bezüglich der Frage nach dem Zeitpunkt der Selektion wurden verschiedene Modelle entwickelt, welche unterschiedliche Aussagen über die Stufe der Verarbeitung treffen, bis zu welcher irrelevanten Reize verarbeitet werden und darüber hinaus differierende Annahmen bezüglich des Grades der Selektivität machen. Nach den jeweiligen Modellen können unbeachtete Reize beispielsweise „herausgefiltert“ und somit vollständig blockiert werden (vergleiche Broadbent, 1966) oder lediglich „gedämpft“ werden (vergleiche Treisman, 1960).

Die Theorien zur selektiven Aufmerksamkeit lassen sich unterteilen in so genannte frühe und späte Selektionsmodelle. Wenn von früher oder später Selektion die Rede ist,

bezieht sich dies auf die Position der Selektionseinheit (z.B. des Filters) innerhalb der Kette der Reizverarbeitungsstufen. Eine frühe Selektion bedeutet demnach, dass von den unbeachteten Reizen nur wenig Information verarbeitet wird und somit ins Gedächtnis gelangt, während bei einer späten Selektion die unbeachteten Reize soweit verarbeitet werden, dass sie in das Kurzzeitgedächtnis gelangen. Die Position des Selektionsmechanismus ist daher entscheidend dafür, was von einem irrelevanten Ereignis bemerkt wird, also welche Eigenschaften des Reizes den Verarbeitungsweg bis hin zum Kurzzeitgedächtnis passieren und somit als Wissen über den Reiz verfügbar sind.

1.1.1.1 Frühes Selektionsmodell (Broadbent)

Das wohl erste und bekannteste Selektionsmodell ist das Filter-Modell (*Filter theory*) von Broadbent (1966)¹, bei dem es sich um ein so genanntes frühes Selektionsmodell handelt. Nach dieser Theorie gelangen zunächst alle Informationen ungefiltert in das sensorische Register und werden soweit verarbeitet, dass eine Analyse physikalischer Merkmale erfolgt (z.B. räumliche Lokation, Intensität, etc.). Da, nach der Idee Broadbents (1966), die kognitive Einheit, welche für die Identifikation von Reizen (Verarbeitung semantischer Informationen) zuständig ist (*limited capacity channel*), nur seriell einen Reiz nach dem anderen verarbeiten kann, parallele Verarbeitung also nicht möglich ist, postulierte er einen Filtermechanismus vor eben dieser Funktionseinheit, der determiniert, welche Reize weiter verarbeitet werden. Die Selektion soll dabei auf der Grundlage der zuvor abgelaufenen physikalischen Analyse erfolgen. Irrelevante Reize werden demnach anhand ihrer physikalischen Eigenschaften erkannt und blockiert, so dass sie den Filter nicht passieren. Sie verbleiben für eine gewisse Zeit im sensorischen Register (für einen möglichen späteren Zugriff). Ausschließlich Reize, welche den Filter passieren und somit der Analyse des *limited capacity channels* zugänglich werden, können bewusst und als Gedächtnisinhalt gespeichert werden. Die Weiterleitung der Informationen geschieht somit nach dem *Alles-oder-nichts-Prinzip*: Irrelevante Reize werden durch den Filter vollständig blockiert, relevante Reize werden vollständig der weiteren Verarbeitung zugänglich gemacht.

¹ Das Modell wurde erstmals 1958 von Broadbent vorgestellt. Hier wird aus der Neuauflage (*Perception and Communication*) von 1966 zitiert.

Anhand dieses frühen Selektionsmodells ließe sich erklären, warum in den Experimenten von Cherry (1953) die physikalischen Merkmale der irrelevanten Nachricht bemerkt wurden, während der semantische Inhalt nicht reproduziert werden konnte und nicht bemerkt wurde. So bemerkten die Probanden zwar den Wechsel zwischen gesprochener Sprache und einem Ton sowie den Wechsel des Geschlechts des Sprechers (also einem Wechsel der Tonlage) im irrelevanten Kanal, ein Wechsel zwischen verschiedenen Sprachen blieb hingegen unbemerkt.

1.1.1.2 Dämpfungsmodell (Treisman)

Es lassen sich jedoch auch Gegenbelege zu dem Filtermodell Broadbents (1966) finden. Evidenz gegen die Annahme eines Alles-oder-nichts-Filter-Modells, in welchem irrelevante Reize lediglich anhand ihrer physikalischen Merkmale analysiert und schließlich vollständig blockiert werden (eine semantische Analyse also nicht erfolgt), findet sich unter anderem in der von Moray (1959) berichteten Beobachtung, dass Probanden beim dichotischen Hören (Beschattungsaufgabe) die Darbietung des eigenen Namens im irrelevanten Kanal häufig bemerkten (*Cocktailparty-Effekt*). Anne Treisman (1960) konnte zudem zeigen, dass Probanden häufig Fehler bei der Beschattungsaufgabe machten, indem sie Worte aus dem irrelevanten Kanal wiedergaben. Diese *Intrusionen* ergaben sich vor allem für Worte, die stark mit dem Inhalt der relevanten Nachricht assoziiert waren. Die Probanden wurden instruiert, das akustische Signal auf einem (relevanten) Ohr wiederzugeben (beschatten), unabhängig davon, worum es sich dabei handele. Eine auf dem irrelevanten Kanal dargebotene narrative Erzählung wechselte innerhalb eines Durchgangs unangekündigt auf das andere Ohr. Es zeigte sich, dass die Probanden diesem Wechsel zunächst mit der Aufmerksamkeit folgten und somit ein oder mehrere Worte aus dem irrelevanten Kanal wiedergaben, schließlich aber wieder (entsprechend der Instruktion) auf das relevante Ohr zurück wechselten. In einer anschließenden Befragung der Probanden zeigte sich, dass diese nicht bemerkt hatten, dass die Geschichte auf das andere Ohr gewechselt hatte oder dass sie einige Wörter aus dem irrelevanten Kanal beschattet hatten. Die Probanden gaben anschließend an, kein Wissen darüber zu haben, was auf dem irrelevanten Kanal gesprochen wurde.

Diese Befunde bestätigen einerseits die Annahme, dass aus dem irrelevanten Kanal nur wenige Informationen bewusst wahrgenommen werden und semantische Hinweisreize offenbar nicht ausreichen, um eine längerfristige Verschiebung der Aufmerksamkeit zu erreichen. Darüber hinaus legen die von Treisman (1960) berichteten Befunde jedoch nahe, dass der Filter der Aufmerksamkeit zeitweise – hoch wahrscheinliche, beziehungsweise hoch relevante – Worte aus dem irrelevanten Kanal durchlässt. Dies scheint vor allem dann der Fall zu sein, wenn auf dem relevanten Kanal widersprüchliche oder unerwartete Informationen ankommen und lässt sich somit nicht mit dem von Broadbent (1966) postulierten Alles-oder-nichts-Prinzip vereinbaren.

Basierend auf diesen Befunden, die gegen eine frühe Selektion im Sinne einer vollständigen Blockade irrelevanter Reize sprechen, entwickelte Anne Treisman (1960) das *Dämpfungsmodell (attenuation)* der selektiven Aufmerksamkeit. Irrelevante Informationen (also z.B. die Nachricht des unbeachteten Kanals in der Beschattungsaufgabe) sollen nach diesem Modell selektiver Aufmerksamkeit nicht nach physikalischer Analyse vollständig verworfen werden, vielmehr wird der unbeachtete Kanal gedämpft. Die Weiterleitung erfolgt also nicht nach dem Alles-oder-nichts-Prinzip, sondern nach einem *Mehr-oder-weniger-Prinzip*. Das in diesem Zusammenhang entwickelte Modell der Worterkennung (Treisman, 1960) geht davon aus, dass im Gedächtnis gespeicherte Wörter (*dictionary*) einen unterschiedlichen Schwellenwert ihrer Aktivierungsbereitschaft betreffend aufweisen, abhängig von Salienz und Häufigkeit. Gleichzeitig kann dieser Schwellenwert auch vom Kontext der vorangegangenen Nachricht oder einer Instruktion moduliert werden, so dass Wörter, die in einem bestimmten Kontext höher wahrscheinlich sind, einen geringeren Schwellenwert aufweisen. Wenn nun der selektive Aufmerksamkeitsmechanismus alle Worte, welche von einer nicht beachteten Quelle kommen, lediglich dämpft (anstatt sie vollständig zu blockieren) und die Worteinheiten (*dictionary units*) somit weniger leicht aktivierbar werden, ist es möglich, dass einige Worte, welche einen ohnehin geringen Schwellenwert aufweisen (wie z.B. der eigene Name) oder welche durch den Kontext der vorangegangenen Nachricht wahrscheinlicher (und damit aktivierbarer) waren, dennoch wahrgenommen werden.

1.1.1.3 Spätes Selektionsmodell (Deutsch & Deutsch)

Während die beiden oben beschriebenen Modelle jeweils von einer Selektion auf einer frühen Stufe ausgehen, bei welcher die irrelevanten Reize also nur bis zu einer physikalischen Analyse verarbeitet werden und sich lediglich bezüglich des Grades an Selektivität, also an Durchlässigkeit des Filters (Alles-oder-nichts versus Mehr-oder-weniger) unterscheiden, gibt es eine weitere Konzeption selektiver Aufmerksamkeit, bei der eine Selektionseinheit erst später, nach abgeschlossener Reizverarbeitung angenommen wird (spätes Selektionsmodell).

Nach der Konzeption selektiver Aufmerksamkeit nach Deutsch und Deutsch (1963) wird kein Filter vor dem Kurzzeitgedächtnis angenommen. Alle Information (beachtet und unbeachtet) gelangt somit ungefiltert bis in das Kurzzeitgedächtnis und wird erst anschließend nach Verhaltensrelevanz selektiert. Eine Kapazitätsbegrenzung tritt somit erst nach vollständiger Reizanalyse (welche parallel verläuft) auf. Eine Weiterverarbeitung – wie beispielsweise die Speicherung im Langzeitgedächtnis oder die Determination einer (motorischen) Reaktion – erfolgt lediglich für die Reize, welche für das aktuelle Handeln/die Aufgabe relevant sind. Deutsch und Deutsch (1963) nahmen zudem einen Zusammenhang zwischen dem allgemeinen Grad an Wachheit (*level of general arousal*) und der Wichtigkeit der Nachricht an, welche determinieren, ob eine bestimmte Nachricht verarbeitet wird. Ist der Grad der Wachheit gering (eine Person also beispielsweise in einem schläfrigen Zustand), muss der Grad der Wichtigkeit der Nachricht entsprechend hoch sein, damit sie beachtet wird. Ab einem bestimmten Grad an Wachheit können alle Informationen beachtet werden. In diesem Fall bestimmt die Verhaltensrelevanz, welche Information weiterverarbeitet wird, also als Gedächtnisinhalt konsolidiert wird oder eine nachfolgende Reaktion determiniert.

1.1.2 Bewertung der Modelle

Die Kontroverse bezüglich des Zeitpunktes der Selektion (früh versus spät innerhalb der Reizverarbeitung) lässt sich nicht befriedigend klären. Die Idee eines Alles-oder-nichts-Filters (Broadbent, 1966) scheint aufgrund des Ausmaßes an Gegenbelegen wenig plausibel. Das Dämpfungsmodell (Treisman, 1960) hingegen lässt sich aufgrund

seiner wenig präzisen Vorhersagen nur schwer experimentell belegen, beziehungsweise falsifizieren. Die experimentellen Befunde lassen sich post hoc teilweise sowohl mit dem späten Selektionsmodell als auch mit dem Dämpfungsmodell erklären.

Die Befunde späterer Studien deuten darauf hin, dass der Ort der Selektion variabel ist und von den spezifischen Anforderungen (z.B. der Art der Aufgabe) mitbestimmt wird (Pashler, 1998). So konnte etwa Lavie (1995) zeigen, dass die Anforderung der Aufgabe (*perceptual load*) bestimmt, wie viel von den irrelevanten Reizen mit verarbeitet wird: Je höher die Anforderung der Aufgabe, desto früher wird selektiert. Ist die Anforderung gering, also genügend Verarbeitungskapazität verfügbar, können auch Distraktoren mit verarbeitet werden (*load theory*).

1.1.3 Experimentelle Operationalisierung selektiver Aufmerksamkeit

Wie oben bereits erwähnt, lässt sich der Aufmerksamkeitsfokus nicht allein anhand räumlicher Informationen (wie etwa beim dichotischen Hören) verschieben. Auch Reizeigenschaften, wie etwa die Farbe der Stimuli, scheinen als Selektionsmerkmal möglich (Brawn & Snowden, 1999). Daneben zeigen vor allem neuere Studien, dass auch Informationen über den Zeitpunkt des Auftretens eines relevanten Ereignisses selektiv fokussiert werden können (z.B. Coull & Nobre, 1998; Miniussi et al., 1999). Die verschiedenen Studien liefern also Hinweise darauf, dass die Verarbeitung der Reize sich danach unterscheidet, ob ein bestimmter Reiz beachtet wurde (also im Fokus der Aufmerksamkeit war) oder der gleiche Reiz nicht beachtet wurde. Die angenommenen Unterschiede innerhalb der Reizverarbeitung lassen sich mittels verschiedener Methoden untersuchen. Zum einem kann das Ergebnis der Reizverarbeitung, also die Reaktion auf den Reiz, betrachtet und auf Unterschiede hin untersucht werden (Verhaltensdaten), zum anderen lässt sich die Reizverarbeitung auch mittels neurophysiologischer Methoden betrachten, etwa mittels Auswertung ereigniskorrelierter Potentiale (EKP) im Elektroenzephalogramm (EEG) oder bildgebenden Verfahren.

1.1.3.1 Verhaltensdaten

Als Nachweis dafür, dass die Fokussierung von Aufmerksamkeit auf bestimmte Reizinformationen zur Verbesserung der Reizverarbeitung geführt hat, lassen sich unter anderem Verhaltensdaten heranziehen. Wird auf beachtete Reize schneller und genauer (mit weniger Fehlern) reagiert als auf unbeachtete, wird dies als Beleg dafür angesehen, dass die selektive Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf die relevante Eigenschaft, die räumliche Position oder den relevanten Auftretenszeitpunkt des Reizes dazu geführt hat, dass dieser schneller und besser verarbeitet werden konnte. Als Maß der Geschwindigkeit werden Reaktionszeiten verwendet. Dazu vergleicht man die Reaktionszeiten für beachtete Reize (also beispielsweise einem Reiz, der links im visuellen Feld/auf dem linken Ohr/genau 500 ms nach einem Hinweisreiz erscheint) mit den Reaktionszeiten für unbeachtete Reize (z.B. einem Reiz der im rechten visuellen Feld/auf dem rechten Ohr/genau 1000 ms nach einem Hinweisreiz erscheint). Sind die Mittelwerte der Reaktionszeiten signifikant kürzer für beachtete gegenüber unbeachteten Reizen wird dies als Nachweis verbesserter Reizverarbeitung durch Aufmerksamkeit bewertet (siehe z.B. Posner, 1980; Posner et al., 1980 für räumliche Aufmerksamkeit; Coull & Nobre, 1998, Miniussi et al., 1999 für zeitliche Aufmerksamkeit).

Neben den Reaktionszeiten lassen sich auch Fehlerraten als Nachweis verbesserter Reizverarbeitung heranziehen (z.B. Posner et al., 1980). Verglichen werden dabei die Fehlerraten der Reaktionen auf beachtete und unbeachtete Reize. Signifikant geringere Fehlerraten für beachtete Reize sprechen für eine durch Aufmerksamkeit gesteigerte Verarbeitungsleistung.

1.1.3.2 Ereigniskorrelierte Potentiale

Neben den eben beschriebenen Verhaltensmaßen (Reaktionszeiten und Fehlerraten) lassen sich auch elektrophysiologische Maße als Nachweis für aufmerksamkeitsmodulierte Stimulus-Verarbeitung betrachten. Es konnte gezeigt werden, dass in ereigniskorrelierten Potentialen, also Potentialschwankungen im EEG auf einen Stimulus hin, bestimmte Komponenten durch den experimentellen Faktor *Aufmerksamkeit* moduliert werden können.

Zur Ermittlung von EKP wird über Elektroden, die auf die Kopfhaut appliziert werden, während der Durchführung eines Experimentes ein EEG aufgezeichnet. Die aufgezeichneten EEG-Daten werden später zur Auswertung in Segmente zerlegt, welche den Zeitbereich einschließen, in dem ein bestimmter relevanter Reiz dargeboten wurde. Über eine Baseline-Korrektur wird die Amplitudenspannung für den Zeitpunkt des Einsetzens des präsentierten Reizes auf null gesetzt, so dass der weitere Verlauf der Amplitude die Aktivität (Schwankung der Amplitude) widerspiegelt, welche durch den Reiz, beziehungsweise die neurophysiologische Verarbeitung des Reizes, ausgelöst wurde. Übrige, störende Aktivität, welche das Potential überlagern könnte (*Rauschen*) soll zum einen über das Einsetzen bestimmter Filter heraus gerechnet werden (zum Beispiel Rauschen durch andere elektrische Aktivität, die mit gemessen wurde), zum anderen muss die Aktivität des EKP aus der Varianz des Spontan-EEGs extrahiert werden. Dies geschieht über das Mitteln der Potentiale mehrerer identischer Reize. So wird zunächst ein Mittel über die EKP aller identischen Reize innerhalb der EEG-Daten einer Versuchsperson gebildet (*Average*) und anschließend ein Gesamtmittel (*Grand Average*) über die Averages aller Versuchspersonen (Coles & Rugg, 1995).

Die Potentialschwankungen des EKPs verlaufen nach bestimmten Mustern. Es können dabei einzelne Komponenten unterschieden werden. Bei den Potentialen auf akustische und visuelle Reize gibt es eine typische Abfolge der Komponenten. So lässt sich innerhalb eines visuell oder akustisch evozierten Potentials zunächst eine Positivierung (positive Komponente) im Zeitbereich um 100 ms (nach dem Erscheinen des zu verarbeitenden Reizes, welcher bei 0 ms liegt) beobachten. Man spricht dabei von der P1- oder P100-Komponente und bezieht sich dabei auf die erste Positivierung innerhalb der Amplitude des evozierten Potentials beziehungsweise der Positivierung nach 100 ms. Im weiteren Verlauf folgt die N1-/N100-Komponenten, also eine Negativierung, welche von einer Positivierung im Zeitbereich um 200 ms (P2-/P200-Komponente) abgelöst wird, auf die wiederum zunächst eine erneute Negativierung (N2-/N200-Komponente) und schließlich wieder eine Positivierung im Zeitbereich um 300 ms nach Reizdarbietung (P3-/P300-Komponente) folgt (Coles & Rugg, 1995). Der Verlauf eines EKP auf einen visuellen oder akustischen Reiz ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

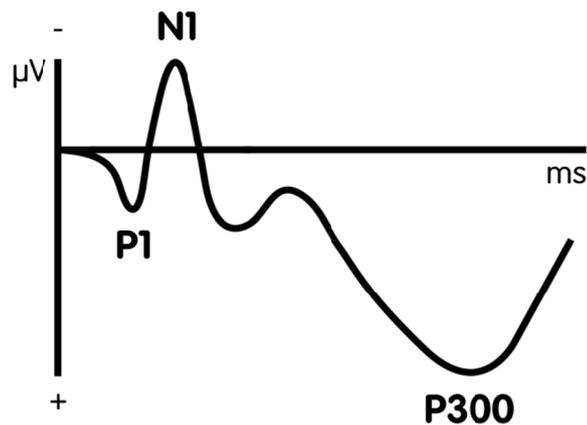


Abbildung 1: Schematische Darstellung eines EKPs mit den Komponenten P1, N1 und P300.

Soll nun anhand von EKP-Daten der Einfluss von Aufmerksamkeit auf die Reizverarbeitung ermittelt werden, vergleicht man dazu die EKP beachteter Reize, also Reize, die etwa zu einem beachteten Zeitpunkt oder an einem beachteten Ort erscheinen, mit den EKP unbeachteter Reize, also (physikalisch identischer) Reize, die zu einem anderen als dem beachteten Zeitpunkt oder an einer anderen räumlichen Position erscheinen. Unterschiede in den Amplituden einzelner Komponenten des EKPs werden als Nachweis aufmerksamkeitsmodulierter Reizverarbeitung betrachtet (z.B. Hillyard, Hink, Schwent, & Picton, 1973). Anhand der spezifischen Komponente, welche eine solche Modulation aufweist, lässt sich vermuten, welche Prozesse der Reizverarbeitung betroffen sind. Somit lässt sich auch elektrophysiologisch eine Operationalisierung des Zeitpunktes der Selektion/Dämpfung unbeachteter Reize realisieren. Wird eine bestimmte EKP-Komponente von Aufmerksamkeit moduliert (Unterschied des Potentials in Abhängigkeit davon, ob ein Reiz beachtet oder unbeachtet war), lässt sich darüber eine Schlussfolgerung bezüglich der betroffenen Prozess-Stufe der Reizverarbeitung treffen. Man kann dabei zwischen frühen und späten Komponenten im EKP unterscheiden, also solchen Komponenten, welche frühe Prozesse widerspiegeln sollen, wie etwa perzeptuelle, also wahrnehmungsbezogene Prozesse und Komponenten, die spätere Entscheidungsprozesse oder motorische Vorbereitung einer Reaktion widerspiegeln sollen.

Wie oben erwähnt, wird von einem Aufmerksamkeitseffekt dann gesprochen, wenn Komponenten des EKPs durch Aufmerksamkeit moduliert werden, also signifikante Unterschiede in den Amplituden für beachtete und unbeachtete Reize beobachtet wer-

den. Diese Modulation kann sich etwa in einer im Mittel größeren beziehungsweise kleineren Amplitude ausdrücken. Als Wert wird dann die mittlere Amplitudenspannung (in μV) in dem Zeitbereich zugrunde gelegt, über den sich die entsprechende Komponente erstreckt (*meanAmp*). Weitere Maße, anhand derer eine Modulation durch Aufmerksamkeit nachgewiesen werden können, sind größere oder kleinere Amplitudenmaxima bestimmter Komponenten (*Peaks*). Verglichen wird dabei der Wert (in μV) des positiven Maximums (bei positiv orientierten Komponenten) oder des negativen Maximums (bei negativ orientierten Komponenten) innerhalb des Zeitbereiches der entsprechenden Komponente in Abhängigkeit davon, ob der Reiz beachtet oder unbeachtet war. Außerdem kann ein Vergleich der *Peak-Latenz* berechnet werden. Statistisch verglichen wird dabei der Zeitpunkt (in ms) des Peaks. Dieser kann zum Beispiel in den Potentialen auf beachtete Reize früher oder später liegen als in den Potentialen unbeachteter Reize. Als typischerweise im Zusammenhang mit selektiver Aufmerksamkeit untersuchte Komponenten sind vor allem die N1- und P1-Komponente als Abbild früher Prozess-Stufen zu nennen sowie die P300-Komponente, welche spätere Verarbeitungsstufen widerspiegeln soll.

Elektrophysiologische Korrelate früher Verarbeitungsstufen: N1/P1

Zu den frühen Komponenten der visuellen und auditiven Reizverarbeitung zählen etwa die N1-Komponente und die P1-Komponente, also die erste Negativierung (N1) und die erste Positivierung (P1) innerhalb des evozierten Potentials.

Modulationen solcher frühen Komponenten im EKP, die primär von physikalischen Reizeigenschaften abhängen, werden als Abbild der Modulation perzeptueller, also der Reizwahrnehmung zugehöriger Verarbeitungsprozesse betrachtet. Diese Interpretation findet sich sowohl für Aufmerksamkeitseffekte in der auditiven Modalität (z.B. Hillyard et al., 1973; Näätänen, 1982; Woldorff & Hillyard, 1991) als auch in der visuellen Modalität (z.B. Eason, 1981, siehe auch Mangun, 1995).

Eine Modulation des EKPs im Zeitbereich der auditiven N1-Komponente durch selektive Aufmerksamkeit wird anhaltend kontrovers diskutiert. Eine Interpretation sieht in dem Effekt eine Amplitudenmodulation der exogenen N1-Komponente und geht von einem Filter- oder Verstärkungsmechanismus aus, der die priorisierte Verarbeitung der

Informationen aus dem relevanten gegenüber dem irrelevanten Kanal bewirkt (Hillyard et al., 1973). Nach einer anderen Interpretation wird die frühe Modulation evozierter akustischer Potentiale durch selektive Aufmerksamkeit als eine Überlagerung der exogenen N1-Komponente mit einer endogenen Verarbeitungsnegativität (*processing negativity*) verstanden (z.B. Näätänen, 1982).

Elektrophysiologisches Korrelat später Verarbeitungsstufen: P300

Bei der P300-Komponente handelt es sich um eine Positivierung im Zeitbereich um 300 ms nach Reizpräsentation. Andere Bezeichnungen sind etwa P3, da es sich um den dritten großen positiven Peak in evozierten Potentialen handelt (Ritter, Vaughan Jr., & Costa, 1968) oder auch *late positive component* (Sutton, Braren, Zubin, & John, 1965; Sutton, Tueting, Zubin, & John, 1967). Anders als die eben beschriebenen frühen Komponenten des EKP soll die P300 nicht von den physikalischen Eigenschaften des Reizes selbst abhängen, sondern vielmehr mit der Reaktion auf den Stimulus assoziiert sein (Sutton et al., 1965; eine Übersicht bietet Picton, 1992). Es konnte gezeigt werden, dass die P300 auch durch das Auslassen eines erwarteten Stimulus ausgelöst werden konnte (Sutton et al., 1967). Die P300 zeigte sich zudem nur dann, wenn Probanden die präsentierten Reize beachteten, also Aufmerksamkeit zuwandten (Donchin & Cohen, 1967; Ritter et al., 1968; Sheatz & Chapman, 1969). Hillyard et al. (1973) konnten beispielsweise zeigen, dass bei simultaner Präsentation von Reizen auf beiden Ohren, von denen eines beachtet und das andere ignoriert werden soll, abweichende Reize nur dann eine P300 auslösten, wenn diese in dem Ohr präsentiert wurden, das von den Probanden beachtet wurde. Abweichende Reize im unbeachteten Ohr lösten keine P300 aus (vergleiche auch Donald & Little, 1981). Hillyard et al. (1973) bewerteten die P300-Komponente als dem „response set“ der Aufmerksamkeit zugehörig, somit soll die Wahrnehmung bestimmter Reize erleichtert sein, die eine zugehörige Reaktion erfordern, nicht etwa die spezifische Beachtung eines bestimmten Kanals (z.B. eine räumliche Position) über den Informationen ankommen („stimulus set“).

1.2 Selektive räumliche Aufmerksamkeit

Ein Auslenken des Aufmerksamkeitsfokus anhand räumlicher Informationen, also die Selektion von Reizen einer bestimmten räumlichen Position (*räumliche Aufmerksamkeit*), wird – neben der oben beschriebenen Beschattungsaufgabe mit dem dichotischen Hören – vor allem anhand zweier experimenteller Paradigmen untersucht: Dem *spatial cueing*-Paradigma (Posner, 1980) und einem Aufmerksamkeitsparadigma, das von Hillyard et al. (1973) vorgestellt wurde (im Folgenden „Hillyard-Paradigma“ genannt). Beide Paradigmen werden im Folgenden vorgestellt.

1.2.1 Cueing-Paradigma

In der räumlichen Cueing-Aufgabe (z.B. Posner, 1980; Posner et al., 1980) sollen räumliche Hinweisreize (*spatial cues*) der besseren Verarbeitung – und damit schnelleren Detektion – beachteter Reize dienen. In der klassischen Cueing-Aufgabe fixieren die Probanden eine zentrale Position auf einem Computermonitor. Die Aufgabe besteht darin, das Auftauchen eines Zielreizes (z.B. eines Quadrat-Symbols) an einer von zwei möglichen peripheren Positionen so schnell wie möglich zu detektieren und mit einem Tastendruck zu reagieren. Innerhalb jedes Durchgangs wird auf der zentralen Position ein Hinweisreiz dargeboten, welcher mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit die Position (links oder rechts) des Zielreizes vorhersagt. Bei dem Cue handelt es sich entweder um einen Pfeil nach links (kündigt Erscheinen des Zielreizes an linker Position an), einen Pfeil nach rechts (kündigt Erscheinen des Zielreizes an rechter Position an) oder um ein Plus-Zeichen (kündigt an, dass das Erscheinen des Zielreizes auf beiden Positionen gleich wahrscheinlich ist). Die Information des Cues kann valide sein, das heißt der Cue kündigt das Erscheinen des Zielreizes (Target) an der Position an, an der dieser anschließend erscheint (Pfeil zeigt nach links und das Target erscheint links). Außerdem kann die Information des Cues invalide sein, in dem Fall kündigt der Cue das Erscheinen des Zielreizes an der anderen Position an, als er tatsächlich erscheint (Pfeil zeigt nach links und das Target erscheint rechts). Kündigt der Cue das Erscheinen des Zielreizes an beiden möglichen Positionen als gleich wahrscheinlich an, wird dies als neutraler Cue bezeichnet (auf ein Plus-Zeichen erscheint das Target links oder rechts). Des

Weiteren gibt es so genannte *Catch Trials*, in denen auf einen Cue hin kein Target erscheint. Bei dem Hinweisreiz kann es sich um die hier beschriebenen so genannten *endogenen* Cues handeln, also etwa einem Pfeil, der in die Richtung weist, in welcher der Zielreiz erscheinen soll. Ein endogener Cue muss zunächst interpretiert werden, damit die (räumliche) Information extrahiert werden kann. Die Aufmerksamkeitsausrichtung erfolgt daher langsam, strategisch und intentional. Neben den endogenen Cues können auch so genannte *exogene* Cues verwendet werden. Unter exogenen Cues versteht man solche Hinweisreize, die nicht interpretiert werden müssen. Bezogen auf räumliche Information also beispielsweise das Aufblinken der Position, an welcher der Zielreiz erscheinen wird. Exogene Cues gelten als *attention catcher*, sie sollen Aufmerksamkeit automatisch (also schnell, kapazitäts- und intentionsfrei sowie unabhängig vom Bewusstsein und der willentlichen Kontrolle) auf sich ziehen. Die Wirksamkeit endogener Cues ist – da sie der intentionalen Kontrolle unterliegen – abhängig von dem Anteil valider Versuchsdurchgänge (*Trials*). Dieser muss groß genug sein, damit Probanden tatsächlich der Information des Cue folgend ihre Aufmerksamkeit auf die angekündigte Position fokussieren. Es konnte zudem gezeigt werden, dass die exogene Orientierung von Aufmerksamkeit, anders als die endogene Orientierung, auch durch räumlich nicht informative Hinweisreize ausgelöst werden kann und darüber hinaus unabhängig von einer Zweitaufgabe ablaufen kann (Jonides, 1981). Die Aufmerksamkeitsorientierung, welche durch endogene Cues ausgelöst wird, kann zudem durch exogene attention catcher unterbrochen werden (Müller & Rabbitt, 1989), wobei dies von der Validität des Cues abzuhängen scheint. Der Störeinfluss (Unterbrechung) fällt bei hoher Validität des endogenen Cues geringer aus (Yantis & Jonides, 1990), so dass davon auszugehen ist, dass auch dieser Prozess der exogenen Aufmerksamkeitsorientierung doch nicht vollständig automatisch abläuft, sondern zumindest partiell der intentionalen Kontrolle unterliegt.

Zur Untersuchung von Aufmerksamkeitseffekten mit dem Cueing-Paradigma werden Reaktionszeiten auf Targets aus validen (beachteten/erwarteten) Durchgängen (Aufmerksamkeit wird durch den Cue auf die Position gelenkt, an der das Target erscheint) mit solchen aus invaliden (unbeachteten/unerwarteten) Durchgängen (Aufmerksamkeit wird durch den Cue auf die andere Position gelenkt, an welcher das Target nicht erscheint) und solchen aus neutralen Durchgängen (Aufmerksamkeit wird durch den Cue

nicht spezifisch auf eine bestimmte Position ausgerichtet) verglichen. Befunde mit diesem Paradigma zeigen, dass Reaktionszeiten für Targets, die valide angekündigt wurden, signifikant kürzer sind als Reaktionszeiten für Targets, welche neutral angekündigt wurden. Diese sind wiederum signifikant kürzer als die Reaktionszeiten für invalide angekündigte Targets (Posner, 1980; Posner et al., 1980). Anhand der neutralen Bedingung lässt sich somit eine Art *Baseline* bestimmen, die angibt, wie (in welcher Geschwindigkeit/Genauigkeit) Reize unabhängig von fokussierter Aufmerksamkeit verarbeitet werden. Von dieser Baseline ausgehend kann dann der Grad an *Kosten*, also verlängerter Antwortlatenzen (größere Reaktionszeiten) für Reize, die an der nicht beachteten Position erschienen, und *Nutzen*, also verkürzte Antwortlatenzen (kürzere Reaktionszeiten) für Reize an der beachteten Position, bestimmt werden (z.B. Posner & Petersen, 1990). Aus den Befunden von Untersuchungen mit dem Cueing-Paradigma leiteten Posner et al. (1980) die Metapher des *Lichtkegels* (*Spotlight*) der Aufmerksamkeit ab (vergleiche auch Broadbent, 1982).

1.2.2 Aufmerksamkeit als Lichtkegel (*Spotlight*)

Nach dieser Konzeption von Aufmerksamkeit (z.B. Posner, 1980; Posner et al., 1980), lässt sich die Funktionsweise des Aufmerksamkeitsfokus am Bild eines Lichtkegels nachvollziehen, der einen bestimmten Ort beleuchtet. Reize, welche an einem *beleuchteten* (beachteten) Ort erscheinen, werden schneller und genauer verarbeitet als solche, die an einem anderen Ort erschienen. Bezogen auf die Cueing-Aufgabe würde also die Information des Cues eine Verschiebung des Lichtkegels der Aufmerksamkeit in die entsprechende Richtung bewirken. In der neutralen Bedingung verbleibt der Lichtkegel der Aufmerksamkeit auf der zentralen Position, da der Cue keinerlei Information über die Position des Targets beinhaltet. Beim Erscheinen des Targets muss der Aufmerksamkeitsfokus (Lichtkegel) nun von der Mitte des Bildschirms aus nach links beziehungsweise rechts verschoben werden, bevor der Reiz verarbeitet werden kann. Enthält hingegen der Cue bereits Information darüber, wo das Target erscheint, kann der Lichtkegel der Aufmerksamkeit bereits vor Erscheinen des Targets in die entsprechende Richtung verschoben werden. Der Weg, welchen der Lichtkegel zurücklegen muss, ist damit entsprechend kürzer (im validen Fall) oder länger (im invaliden Fall) als in der

neutralen Ausgangssituation. Entspricht der Cue etwa einem Pfeil nach links, würde dies eine Verschiebung des Aufmerksamkeitsfokus zur linken Position hin bewirken. Beim Erscheinen des Targets „beleuchtet“ somit der Lichtkegel der Aufmerksamkeit die linke Position. Taucht das Target nun tatsächlich an dieser beleuchteten (beachteten) Position auf, kann es somit schneller verarbeitet werden. Dieser Verarbeitungsvorteil drückt sich in den verkürzten Reaktionszeiten für valide angekündigte Reize (Nutzen) aus. Erscheint das Target hingegen nicht – wie angekündigt – an der linken Position, sondern an der rechten (invalide/unbeachtet), muss der Aufmerksamkeits-Lichtkegel zunächst von der linken Position gelöst und anschließend zur rechten Position hin verschoben werden. Dieser – gegenüber der neutralen Bedingung – verlängerte Weg führt somit zu verlängerten Reaktionszeiten (Kosten).

Posner et al. (1980) beschrieben den Fokus der Aufmerksamkeit somit als Lichtkegel von konstanter Größe, welcher sich kontinuierlich (ähnlich der Augenbewegungen, allerdings von diesen unabhängig) über das visuelle Feld bewegt. Sie konnten die Autoren mit einem Cueing-Paradigma, in welchem ein endogener Cue das Erscheinen des Targets an einer von mehreren möglichen Positionen ankündigte (Detektions-Aufgabe) zeigen, dass bei größerer Distanz zwischen der angekündigten und der tatsächlichen Position des Targets, die Reaktionszeiten kürzer waren, wenn der zeitliche Abstand zwischen Cue und Target groß war. Die Verschiebung des Aufmerksamkeitsfokus kann somit als zeitverbrauchender Prozess verstanden werden, in dem der Lichtkegel zu der entsprechenden räumlichen Position verschoben werden muss. Je größer die räumliche Distanz, desto länger braucht die Verschiebung (siehe auch Tsal, 1983).

Es wurden drei Mechanismen formuliert, welche die Orientierung von Aufmerksamkeit steuern sollen (Posner, Petersen, Fox, & Raichle, 1988). Ein *Disengage*-Mechanismus soll die Aufmerksamkeit von einer Position/einem Objekt lösen, bevor der *Move*-Mechanismus die Aufmerksamkeit von einer Position zur anderen verschiebt, wo diese schließlich durch den *Engage*-Mechanismus an ein neues Objekt/einen Ort angebunden wird.

1.2.3 Aufmerksamkeit als Gummilinse (*Zoom lens*)

Als alternative Konzeption zum Lichtkegel-Modell der Aufmerksamkeit ist das so genannte Gummilinsen-Modell (*zoom lens*) bekannt (Eriksen & Murphy, 1987; Eriksen & St James, 1986). Ähnlich der Vorstellung von Aufmerksamkeit als Lichtkegel, wird hier ebenfalls ein Aufmerksamkeits-Mechanismus angenommen, welcher bestimmte Bereiche fokussiert. Die Größe des Fokus ist jedoch – anders als beim Lichtkegel-Modell (z.B. Posner et al., 1980) – nicht konstant, sondern kann von einer kleinen Brennweite, bei welcher der Fokus eng ist und nur einen kleinen Bereich betrachtet wird, zu einer breiteren, weniger fokussierten Einstellung hin variiert werden. In der unfokussierten Einstellung werden alle vorhandenen Reize parallel verarbeitet, während in der fokussierten Einstellung nur die Reize innerhalb des Fokus verarbeitet werden und die übrigen nicht. Mittels eines Cues kann so beispielsweise von einem zuvor breiten, unfokussierten Zustand in einen fokussierten Zustand gewechselt werden. Je nach Aufgabenanforderung kann der Fokus dabei breiter (zum Beispiel zur Erkennung eines ganzen Wortes) oder enger (beispielsweise zur Detektion eines Zielbuchstaben innerhalb eines Wortes) eingestellt werden (vergleiche LaBerge, 1983).

1.2.4 Aufmerksamkeit als Filter oder Lichtkegel

Die Frage, ob selektive Aufmerksamkeit als Filter- beziehungsweise Dämpfungsmechanismus verstanden werden kann, unbeachtete Reize also zugunsten der Verarbeitung beachteter Reize blockiert/gedämpft werden, oder aber Aufmerksamkeit als Lichtkegel beziehungsweise Gummilinse zu verstehen ist, wobei die Verarbeitung beachteter Reize durch den Fokus des Lichtkegels/der Gummilinse schneller und besser erfolgen kann als die Verarbeitung von Reizen außerhalb dieses Fokus, hängt möglicherweise von der spezifischen Anforderung einer Situation/Aufgabe ab. Dies spiegelt sich auch in den Unterschieden der – zur Untersuchung dieser Modelle von Aufmerksamkeit verwendeten – Paradigmen wider. Bei Aufgaben, deren Anforderung darin besteht, innerhalb einer Fülle von Informationen die relevante Information zu finden und auf diese zu reagieren – wie etwa beim dichotischen Hören (z.B. Cherry, 1953) – erscheint es plausibel, dass die dargebotene Informationsflut nicht parallel verarbeitet werden kann, die rele-

vante Information daher herausgefiltert werden muss, indem irrelevante Reize blockiert oder gedämpft werden. Gibt es hingegen zu einem Zeitpunkt nur einen relevanten Reiz – wie zum Beispiel im Cueing-Paradigma (z.B. Posner et al., 1980) – dessen Erscheinungsort vorher durch einen Hinweisreiz angekündigt wird, ist die Konzeption von Aufmerksamkeit als Filter-Mechanismus weniger passend. Hier erscheint das Bild des Lichtkegels, welcher bereits vor Erscheinen des Zielreizes an dessen Darbietungsort verschoben wird und somit zu einer schnelleren Verarbeitung dieses Reizes führt, eher nachvollziehbar.

Anhand der Konzeption von Aufmerksamkeit als Filter (oder Dämpfung) lässt sich ableiten, dass selektive Aufmerksamkeit eher Prozesse beeinflusst, die sich auf die Reizwahrnehmung beziehen. Aufgrund einer Fülle zeitgleich dargebotener Informationen können diese nicht alle vollständig verarbeitet werden, daher werden irrelevante Reize nach einer ersten Analyse verworfen (oder gedämpft) und lediglich relevante Reize vollständig verarbeitet. Die Vorstellung von selektiver Aufmerksamkeit als Lichtkegel (oder Gummilinse) bezieht sich hingegen eher auf entscheidungs- oder reaktionsbezogene Prozesse: Wenn nur ein Reiz zu einem Zeitpunkt präsentiert wird, kann dieser vollständig verarbeitet werden.

Bezogen auf die Frage, ob frühe oder späte Prozesse der Reizverarbeitung durch Aufmerksamkeit beeinflusst werden, lässt sich feststellen, dass dies durch die spezifischen Anforderungen der Aufgabe (mit-)bestimmt wird (vergleiche Luck & Hillyard, 2000; Pashler, 1998). Bei der einzelnen Darbietung eines Reizes oder einer langsamen Abfolge von Reizen ist eine frühe Selektion nicht notwendig, eine vollständige Verarbeitung aller Reize ist somit möglich. Werden mehrere Reize zur gleichen Zeit dargeboten oder ist die Abfolge der verschiedenen Reize besonders schnell und die Aufgabenschwierigkeit damit hoch, so dass eine vollständige Verarbeitung aller Reize nicht möglich ist, begünstigt dies eine frühe Selektion, wenn sich relevante und irrelevante Reize dabei gut unterscheiden lassen (z.B. Hillyard et al., 1973; Näätänen, 1982, 1990).

1.2.5 Hillyard-Paradigma

Neben dem spatial-cueing werden Effekte räumlicher Aufmerksamkeit auch in einem Paradigma untersucht, welches zum ersten Mal von Hillyard et al. (1973) vorgestellt

wurde: Den Versuchspersonen wurde dabei auf beiden Ohren simultan (Experiment 1) eine Folge von Tönen dargeboten, die Ton-Frequenz unterschied sich dabei zwischen den beiden Ohren. In jeder der beiden Tonfolgen gab es *Standard-Töne (standards)* und so genannte *Signal-Töne (signals)*, die eine leichte Abweichung in der Frequenz aufwiesen. Die Versuchspersonen wurden instruiert, welches der beiden Ohren das relevante (zu beachtende) Ohr darstellt. Die Aufgabe bestand darin, die Signal-Töne im beachteten Ohr zu zählen. Verglichen wurden anschließend EKP auf Standard-Reize für jedes Ohr, abhängig von der Bedingung (beachtet versus unbeachtet), also physikalisch identische Reize, welche sich lediglich darin unterschieden, ob sie räumlich beachtet oder unbeachtet präsentiert wurden. Die Befunde zeigten, dass bereits die N1, als frühe Komponente des EKPs, von Aufmerksamkeit moduliert zu werden scheint. So fand man signifikant größere N1-Amplituden für beachtete Standard-Reize (verglichen mit unbeachteten Standard-Reizen). In einem zweiten Experiment (Hillyard et al., 1973, Experiment 2) wurde den Versuchspersonen nur eine einzige Tonfolge dargeboten, bei welcher die Töne randomisiert mit gleicher Wahrscheinlichkeit auf dem rechten oder dem linken Ohr präsentiert wurden. Auch hier fanden die Autoren den eben beschriebenen Unterschied in der N1-Komponente. Unspezifische Erwartungen als Alternativerklärung für den EKP-Effekt (vergleiche Näätänen, 1975) konnten somit ausgeschlossen werden, da die zufällig Reihenfolge der Reizpräsentation keine Vorhersage darüber erlaubte, auf welchem Kanal der nächste Reiz präsentiert würde und damit nicht vorhersehbar war, ob es sich um einen beachteten oder einen unbeachteten Reiz handeln würde.

Die Tatsache, dass eine Modulation der N1-Komponente in Abhängigkeit davon gefunden wurde, ob Reize beachtet oder unbeachtet präsentiert wurden – ein Befund, der in vorherigen Experimenten nicht berichtet wurde – wurde dahin gehend interpretiert, dass zur Erreichung eines solchen Effekts relevante und irrelevante Reize einfach unterscheidbar sein sollten (hier unterschieden sie sich in räumlicher Position und Frequenz), der experimentelle Aufbau so gestaltet sein sollte, dass es nicht möglich ist, beide Kanäle gleichzeitig zu beachten (hier durch die schnelle Darbietungsrate) und zudem die Aufgabe schwierig sein sollte (hier durch die geringen Frequenzunterschiede zwischen Standard- und Signal-Tönen).

Eine weitere Beobachtung war, dass lediglich Signal-Töne eine P300-Komponente auslösten, während man für die Standard-Töne keine P300-Komponente fand.

Die Befunde wurden dahingehend interpretiert, dass N1 und P300 als Korrelate unterschiedlicher Prozesse selektiver Aufmerksamkeit zu betrachten sind. Die N1 soll dabei eher mit dem *stimulus set*, die P300 mit dem *response set* (vergleiche Broadbent, 1970) der Aufmerksamkeit assoziiert sein. Das *stimulus set* soll dabei Reize aus dem relevanten Kanal der weiteren Verarbeitung zugänglich machen, während die Reize aus dem nicht relevanten Kanal blockiert/gedämpft werden. Dies entspricht einer Selektion/Dämpfung auf einer sehr frühen Stufe der Reizverarbeitung. Das *response set* hingegen entspricht einer späteren Prozess-Stufe der Reizverarbeitung, bei dem spezifische, aufgabenrelevante Reize (durch einen Gedächtnisabgleich) erkannt werden, um die Reaktion zu erleichtern. Die N1 soll somit die Blockade/Dämpfung von Reizen aus dem irrelevanten Ohr widerspiegeln, während die P300 das selektive Erkennen der Signal-Töne im relevanten Ohr zur Vorbereitung der Reaktion (hier: zählen) abbilden soll.

1.2.6 Zusammenfassung der Befunde zur räumlichen Aufmerksamkeit

In verschiedenen Studien konnte gezeigt werden, dass selektive räumliche Aufmerksamkeit die Reizverarbeitung verbessert. Das Wissen darüber, wo ein Reiz erscheint, führt somit zu einer Orientierung der Aufmerksamkeit auf diese räumlichen Position, wodurch auf einen dort erscheinenden Reiz besser (schneller und genauer) reagiert werden kann als auf Reize, die an einer anderen räumlichen Position erscheinen (welche nicht im Fokus der Aufmerksamkeit liegt). Dieser Verarbeitungsvorteil räumlich beachteter Reize spiegelt sich primär in kürzeren Reaktionszeiten wider (z.B. Posner, 1980; Posner et al., 1980). Die Befunde aus EKP-Studien liefern elektrophysiologische Korrelate dieses – im Verhalten beobachtbaren – Verarbeitungsvorteils, in Form von Modulationen sowohl später Komponenten, die für eine Verbesserung reaktionsbezogener Prozesse sprechen als auch früher Komponenten (P1, N1), die eine Verbesserung reizbezogener Verarbeitungsstufen durch selektive räumliche Aufmerksamkeit nahe legen (z.B. Eason, 1981; Hillyard et al., 1973; Van Voorhis & Hillyard, 1977).

1.3 Selektive zeitliche Aufmerksamkeit

Die Tatsache, dass räumliche Hinweisreize geeignet sind, um Aufmerksamkeit selektiv relevanten Reizen zukommen zu lassen und diese gezielt zu verarbeiten um gegebenenfalls zu reagieren, lässt sich leicht an alltäglichen Situationen verdeutlichen. Besonders das Cocktailparty-Phänomen wird dabei häufig zitiert: In einem Raum voller Personen ist es wichtig, die Aufmerksamkeit gezielt auf die Position zu richten, aus der die Worte des eigenen Gesprächspartners kommen. Genauso nachvollziehbar erscheint es, dass es durch die Dynamik des Alltags zusätzlich der Beachtung relevanter Zeitpunkte bedarf. Etwa am Beispiel der Verkehrsampel lässt sich ein Prozess der Vorbereitung auf einen bestimmten Zeitpunkt nachvollziehen. An einer Verkehrsampel stehend setzt eine Vorbereitung auf den Zeitpunkt ein, an welchem die Ampel auf „Grün“ umspringt, um dann möglichst schnell reagieren und losfahren zu können.

1.3.1 Zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung

Während das Feld der räumlichen Aufmerksamkeit lange im Fokus der Forschung zur selektiven Aufmerksamkeit stand, beschäftigen sich neuere Studien (der letzten 10-15 Jahre) zunehmend mit der selektiven Auslenkung von Aufmerksamkeit auf zeitlich (anstatt räumlich) relevante Ereignisse (Coull & Nobre, 1998; Nobre, Correa, & Coull, 2007; Nobre & Coull, 2010; Nobre & O'Reilly, 2004). Die Rede ist dabei von der sogenannten zeitlichen Aufmerksamkeitsorientierung (*temporal orienting*), welche beschreibt, wie die Informationen über Zeitintervalle genutzt werden können, um die Aufmerksamkeit auf den Zeitpunkt zu lenken, an dem ein relevantes Ereignis erwartet wird, um somit die Reaktion zu verbessern (Coull & Nobre, 1998).

Zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung soll also eine selektive Fokussierung der Aufmerksamkeit auf einen relevanten Zeitpunkt bewirken (selektive zeitliche Aufmerksamkeit). Untersucht wird der Einfluss zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung auf die Verarbeitung von Reizen vor allem in zwei verschiedenen Paradigmen: einer zeitlichen Variante des Cueing-Paradigmas und in einer zeitlichen Variante des Hillyard-Paradigmas. Beide sollen im Folgenden vorgestellt werden.

1.3.2 Zeitliches Cueing-Paradigma

In dieser Abwandlung des klassischen Cueing-Paradigmas (z.B. Posner et al., 1980) kündigt ein symbolischer Hinweisreiz (Cue) das Erscheinen eines Zielreizes (Target) zu einem bestimmten Zeitpunkt (anstatt an einer bestimmten räumlichen Position) an (Correa, Lupiáñez, Milliken, & Tudela, 2004; Correa, Lupiáñez, & Tudela, 2005; Coull & Nobre, 1998; Griffin, Miniussi, & Nobre, 2001, 2002; Miniussi et al., 1999). Typischerweise gibt es zwei unterschiedliche Cue-Reize und zwei mögliche Zeitintervalle zwischen Cue und Target. Jedem der beiden Cue-Reize ist eines der beiden möglichen Zeitintervalle zugeordnet, welches durch diesen mit einer hohen Wahrscheinlichkeit valide angekündigt wird. Die Aufgabe der Versuchspersonen besteht in der Detektion eines Target-Stimulus oder der Diskrimination zwischen verschiedenen Target-Stimuli. Als Cue-Reize werden häufig endogene visuelle Symbole verwendet. Die Probanden werden über die Zuordnung der Cues zu dem jeweiligen Zeitintervall informiert. Anders als in der räumlichen Cueing-Aufgabe, in welcher meist intuitiv verständliche Symbole verwendet werden, wie etwa Pfeile, die in Richtung der Position weisen, an welcher das Target erscheinen soll, werden in der zeitlichen Aufgabe weniger intuitive Stimuli verwendet, etwa ein gestauchtes und ein gestrecktes X-Symbol (z.B. Griffin et al., 2002; Miniussi et al., 1999). Jeder der beiden Cue-Reize kündigt eines der beiden Intervalle an, nach welchem das Target erscheinen soll. Die Information des Cues ist dabei in der Mehrzahl der Fälle valide (beispielsweise in 80 % der Durchgänge bei Miniussi et al., 1999). In den übrigen Durchgängen ist die Information des Cues invalide, das Target erschien also zum anderen als dem angekündigten Zeitpunkt (also früher beziehungsweise später als erwartet). Darüber hinaus werden, analog zur räumlichen Cueing-Aufgabe, oftmals Catch Trials verwendet, also Durchgänge, in denen auf den Cue kein Target folgt.

Der Effekt zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung auf die Reizverarbeitung wird über den Vergleich valide und invalide angekündigter Targets ermittelt. Verglichen werden – in einem Versuchs-Design mit zwei *stimulus onset asynchronies* (SOAs) – die Reaktionszeiten und Fehlerraten von valide und invalide angekündigten Targets nach einem kurzen Intervall sowie valide und invalide angekündigte Targets nach einem langen Intervall. Beim Vergleich der Targets, die auf das kurze Intervall folgen, findet man

typischerweise kürzere Reaktionszeiten für jene Targets, welche valide angekündigt wurden, verglichen mit den Reaktionszeiten für solche Targets, die invalide angekündigt wurden (Coull & Nobre, 1998; Griffin et al., 2001, 2002; Miniussi et al., 1999). Auch ein genaueres Antwortverhalten (geringere Fehlerraten) für valide gegenüber invalide angekündigte Targets wurde berichtet (Correa et al., 2005).

Diese Verbesserung der Reizverarbeitung durch zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung scheint allerdings nur für Targets zuzutreffen, die nach dem kurzen Intervall erscheinen, während sich für Targets nach dem langen Intervall kein Unterschied zwischen validen und invaliden Reizen findet (z.B. Coull & Nobre, 1998; Miniussi et al., 1999). Das Ausbleiben einer verbesserten Reizverarbeitung durch zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung für Targets nach dem langen Intervall wird dahingehend interpretiert, dass es zu einer *Neuorientierung* der Aufmerksamkeit (*reorienting of attention*) kommt (Coull & Nobre, 1998; Nobre, 2001): Wenn nach Ankündigung eines kurzen Intervalls am Ende dieses kurzen Intervalls das Target ausbleibt, werden Versuchspersonen ihre Aufmerksamkeit neu orientieren auf das Ende des langen Intervalls, um somit auf ein potenzielles (invalide angekündigtes) Target am Ende des langen Intervalls reagieren zu können. Entsprechend sind valide und invalide Targets am Ende eines langen Intervalls gleichermaßen beachtet (im Sinne einer fokussierten Aufmerksamkeit), so dass sich kein Unterschied in den Verhaltensdaten findet. Die Besonderheit in der Untersuchung zeitlicher – im Vergleich zu räumlicher – Aufmerksamkeitsorientierung ist, dass auf einen Cue folgend valide und invalide Targets nicht zur gleichen Zeit erscheinen können, man also nach der Ankündigung eines kurzen Intervalls durch den Cue erst am Ende des langen Intervalls weiß, ob es sich um einen invaliden Durchgang oder ein Catch Trial handelt. Dies steht nicht nur der Ermittlung von Aufmerksamkeitseffekten für Targets nach dem langen Intervall entgegen, es führt zudem dazu, dass eine *neutrale* Bedingung zur Ermittlung einer Baseline (wie im räumlichen Kosten-Nutzen-Paradigma) nur schwer zu realisieren ist. Zwar könnte man einen weiteren Cue-Reiz einführen, welcher (analog zum neutralen Cue in der räumlichen Posner-Aufgabe) ein Auftreten des Targets nach beiden Zeitintervallen als gleich wahrscheinlich ankündigt, doch bliebe es fraglich, inwieweit zwei aufeinanderfolgende Zeitpunkte gleichermaßen beachtet werden können, im Sinne eines Ausrichten der Aufmerksamkeit auf die zeitliche „Mitte“ zwischen den beiden möglichen Ereignissen (vergleiche Posner et al., 1980). Es wäre

möglich, dass – analog zur Neuorientierung der Aufmerksamkeit – auf einen neutralen Cue hin zunächst der Zeitpunkt am Ende des kurzen Intervalls beachtet werden würde und beim Ausbleiben eines Targets am Ende des kurzen Intervalls eine Neuorientierung der Aufmerksamkeit auf das Ende des langen Intervalls stattfinden würde. Legt man die Metapher des Lichtkegels (z.B. Posner et al., 1980) zugrunde, würde der Lichtkegel vermutlich zunächst auf den Zeitpunkt nach dem kurzen Intervall ausgerichtet. Bei Nichterscheinen eines Targets zu diesem Zeitpunkt würde der Lichtkegel der Aufmerksamkeit von diesem Zeitpunkt gelöst und zu dem anderen Zeitpunkt hin verschoben werden, ähnlich wie es für die invalide angekündigten Targets am Ende des langen Intervalls postuliert wurde. So lange der Abstand zwischen den beiden verwendeten Intervallen größer ist als die Dauer des Verschiebungsprozesses, entstehen somit keine Kosten invalide angekündigter Targets am Ende des langen Intervalls.

Die Schwierigkeit der Operationalisierung einer neutralen Bedingung zur Ermittlung einer Baseline führt dazu, dass sich kaum zuverlässige Aussagen darüber treffen lassen, ob es sich bei dem Unterschied in den Reaktionszeiten valide und invalide angekündigter Targets um *Nutzen* im Sinne einer verbesserten Reizverarbeitung der valide angekündigten Targets oder um *Kosten* im Sinne einer verlangsamten Reizverarbeitung der invalide angekündigten Targets handelt oder ob die Differenz der Reaktionszeiten die Summe der Kosten und Nutzen widerspiegelt (analog zur Reaktionszeit-Differenz valide und invalide angekündigter Targets im räumlichen Cueing-Paradigma). Die Metapher des Lichtkegels erscheint jedoch für Targets, die nach dem kurzen Intervall erscheinen nur schwierig anwendbar, da sonst analog zur Verschiebung von links nach rechts (räumlich) eine Verschiebung von einem späteren zu einem früheren Zeitpunkt (entlang der Zeitachse) stattfinden müsste. Somit erscheint es plausibler, dass es sich bei der Differenz der Reaktionszeiten valider und invalider Targets um Nutzen (im Sinne verbesserter Aufmerksamkeit) handelt als um Kosten.

Die in den Verhaltensdaten beobachteten Effekte zeitlicher Orientierung von Aufmerksamkeit ähneln dem Befundmuster von Studien zur räumlichen Aufmerksamkeit. Das Orientieren der Aufmerksamkeit auf einen bestimmten Zeitpunkt scheint zu einer Verbesserung der Reizverarbeitung zu führen, in der Form, dass beachtete Reize schneller und genauer verarbeitet werden können als unbeachtete Reize (Coull & Nobre, 1998; Griffin et al., 2001, 2002; Miniussi et al., 1999). Der Frage danach, welche Stufen der

Reizverarbeitung dabei betroffen sind, welche Prozesse also von zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung beeinflusst werden, wurde in einer Reihe von EEG-Studien (sowie einer Studie mit bildgebenden Verfahren) nachgegangen. Es wurde untersucht, welche Komponenten der evozierten Potentiale durch zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung moduliert werden (beziehungsweise, welche Hirnareale aktiviert werden). Als Versuchsdesign diente dabei typischerweise die oben beschriebene zeitliche Variante des Cueing-Paradigmas, in welchem bisher ausschließlich visuelle Reize verwendet wurden². Es soll nun zunächst ein – chronologisch geordneter – Überblick über die Befunde der (EEG-)Studien zur zeitlichen Orientierung von Aufmerksamkeit gegeben werden.

1.3.3 Vergleich der Wirkungsweise selektiver räumlicher und zeitlicher Aufmerksamkeit

Coull und Nobre (1998) nahmen den Mangel an Studien zur Aufmerksamkeitsorientierung auf zeitliche Ereignisse zum Anlass ihrer Untersuchungen, die einen Vergleich der neurophysiologischen Grundlagen zeitlicher und räumlicher Aufmerksamkeitsorientierung anstrebten. Verwendet wurden visuelle Reize in einer kombinierten zeitlich/räumlichen Variante des Cueing-Paradigmas. Die Autoren untersuchten die Verarbeitung der beachteten und unbeachteten Reize anhand von Verhaltensdaten sowie bildgebenden Verfahren. Dazu wurden Daten sowohl mittels Positronen-Emissions-Tomographie (PET) als auch mit Hilfe funktioneller Magnetresonanztomographie (fMRT) erhoben.

Vier unterschiedliche, zentral dargebotene Cues informierten die Versuchspersonen entweder über die räumliche Position (links oder rechts im visuellen Feld), an welcher der Target-Stimulus mit hoher Wahrscheinlichkeit (80 % valide Durchgänge) erschien (räumlicher Cue), oder über den Zeitpunkt (300 ms oder 1500 ms nach der Präsentation des Cues), an welchem das Target erscheinen würde (zeitlicher Cue). Zudem gab es kombinierte Cue-Reize, welche gleichzeitig Auskunft über das wahrscheinliche Auftreten des Targets zu einem bestimmten Zeitpunkt an einer bestimmten räumlichen Position (beispielsweise: 300 ms nach dem Cue im linken visuellen Feld) gaben. Ein zusätz-

² Nach dem Stand der Recherche zum Zeitpunkt der Durchführung der Experimente der vorliegenden Arbeit.

lich verwendeter, neutraler Cue-Reiz enthielt keinerlei Information über den Zeitpunkt oder die Position des Targets. Das Auftauchen des Targets war demnach zu beiden Zeitpunkten und an beiden räumlichen Positionen in der neutralen Bedingung gleich wahrscheinlich. Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand in einer reinen Detektion des Targets, auf welches mit einem Tastendruck reagiert werden sollte. Reaktionszeiten wurden gemessen.

Die Autoren berichten bezüglich der Verhaltensdaten das oben beschriebene typische Befundmuster: Valide angekündigte Targets führten zu kürzeren Reaktionszeiten. Über den Vergleich der validen und invaliden Bedingung mit der neutralen Bedingung sollten darüber hinaus Kosten und Nutzen der Aufmerksamkeitsorientierung bestimmt werden. Die Autoren berichten sowohl Kosten invalider Targets (im Sinne längerer Reaktionszeiten verglichen mit der neutralen Bedingung) als auch Nutzen valider Targets (im Sinne kürzerer Reaktionszeiten verglichen mit der neutralen Bedingung) für räumliche und zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung. In der zeitlichen Bedingung fielen im langen Intervall die Kosten geringer aus. Dies erklärten die Autoren mit der Neuorientierung der Aufmerksamkeit: Bei Ausbleiben eines Targets am Ende des kurzen Intervalls verschieben Probanden ihre Aufmerksamkeit auf das Ende des langen Intervalls, da sie sicher sein können, dass nun dort ein Target erscheint. Das Befundmuster der Verhaltensdaten zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung entspricht (mit der Einschränkung für das lange Intervall) also sowohl den bekannten Befunden zur räumlichen Aufmerksamkeit (vergleiche Posner, 1980) als auch der räumlichen Vergleichsbedingung der Studie. Es sei dennoch darauf hingewiesen, dass eine neutrale zeitliche Bedingung aus den oben ausgeführten Gründen schwierig realisierbar ist und es wenig plausibel erscheint, zwei aufeinanderfolgende Zeitpunkte zur gleichen Zeit gleichermaßen zu erwarten/beachten. Es wäre ökonomisch, auf einen neutralen Cue hin zunächst die Aufmerksamkeit auf das Ende des kurzen Intervalls zu orientieren und bei Ausbleiben eines Targets an diesem Zeitpunkt, die Aufmerksamkeit zum Ende des langen Intervalls zu verschieben, analog zum Verhalten, das für die invalide angekündigten Targets am Ende des langen Intervalls postuliert wird (Neuorientierung der Aufmerksamkeit). Wäre das der Fall, dürften sich die Reaktionszeiten zwischen der neutralen und der validen Bedingung für Targets nach dem kurzen Intervall nicht unterscheiden. Die Tatsache, dass die Autoren dennoch Nutzen für Targets am Ende des kurzen Intervalls fanden, lässt sich möglicherweise

dadurch erklären, dass die Orientierung des Aufmerksamkeitsfokus in der neutralen Bedingung weniger präzise erfolgt als in der validen Bedingung. Möglicherweise wird in der neutralen Bedingung einfach eine weniger selektive Fokussierung der Aufmerksamkeit bewirkt, welche sich von der selektiven Fokussierung bei der validen Bedingung unterscheidet.

Das Befundmuster der Verhaltensdaten deutete darauf hin, dass die Reizverarbeitung durch zeitliche und räumliche selektive Aufmerksamkeit auf ähnliche Art und Weise beeinflusst wird. Die Analyse bildgebender Verfahren diente somit der Überprüfung, inwieweit die entsprechenden neuronalen Verarbeitungsprozesse übereinstimmen. Räumliche Aufmerksamkeitsorientierung führte – neben überlappender Aktivierung der beiden Bedingungen – zu einer stärkeren Aktivierung des rechten posterioren parietalen Cortex-Bereich des inferioren Parietallappens. Aktivierung im rechten visuellen Cortex und dem Cerebellum (bilateral) war ebenfalls assoziiert mit räumlicher Aufmerksamkeitsorientierung. Zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung hingegen führte zu einer stärkeren Aktivierung des linken intraparietalen Sulcus und des linken Cerebellums. Darüber hinaus wurde eine Aktivierung des linken ventralen Prämotorischen Cortex beobachtet. Die Autoren sprechen von einem linken frontoparietalen Netzwerk, welches speziell für die Ausrichtung von Aufmerksamkeit auf einen bestimmten Zeitpunkt zuständig ist. Der rechte Temporoparietale Übergang war ausschließlich in der kombinierten Bedingung räumlicher und zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung aktiviert. Die Autoren postulierten anhand dieser Befunde ein generelles neuronales Netzwerk, welches für Aufmerksamkeitsorientierung zuständig ist. Zeitliche und räumliche Aufmerksamkeitsorientierung sollen zu unterschiedlicher Lateralisierung führen, wobei die linke Hemisphäre in der Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf einen Zeitpunkt dominiert und die rechte Hemisphäre bei der Orientierung der Aufmerksamkeit auf eine bestimmte räumliche Position stärker aktiv ist.

1.3.4 EKP-Befunde zum zeitlichen Cueing

Der Studie von Coull und Nobre (1998) folgten eine Reihe von EKP-Studien, welche sich mit der Frage beschäftigten, welche Prozess-Stufen der Reizverarbeitung von zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung beeinflusst werden und inwieweit sich die Effekte

zeitlicher Aufmerksamkeit von denen räumlicher Aufmerksamkeit unterscheiden beziehungsweise inwiefern sie sich entsprechen. Im Folgenden sollen diese Studien vorgestellt werden.

Miniussi et al. (1999) untersuchten Effekte zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung auf die Verarbeitung visueller Reize anhand ereigniskorrelierter Potentiale mit Hilfe des zeitlichen Cueing-Paradigmas. Als Cue-Reize dienten dabei ein gestauchtes und ein gestrecktes X-Symbol. Das Intervall zwischen Cue und Target (SOA) konnte entweder 600 ms oder 1400 ms betragen. Jeder der beiden Cues kündigte eines der beiden Intervalle an, nach welchem das Target erscheinen würde. Die Information des Cues war dabei in 80 % der Durchgänge valide, das Target erschien also nach dem angekündigten Intervall. In 10 % der Durchgänge war die Information des Cues invalide, das Target erschien also zum anderen als dem angekündigten Zeitpunkt. Bei den verbleibenden 10 % der Durchgänge handelte es sich um Catch Trials. Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand in einer einfachen Detektion des Targets mittels Tastendruck. Alle Stimuli wurden foveal dargeboten, sodass keinerlei räumliche Information zur Selektion oder Detektion der Targets genutzt werden konnte. Zur Ermittlung des Einflusses selektiver zeitlicher Aufmerksamkeit wurden die Reaktionszeiten der Detektions-Aufgabe sowie die EKP valide und invalide angekündigter Targets verglichen.

Die Reaktionszeiten für valide und invalide angekündigte Targets nach dem kurzen Intervall unterschieden sich signifikant, während für Targets am Ende des langen Intervalls kein Unterschied zwischen der validen und der invaliden Bedingung gefunden wurde.

Die EKP-Daten zeigten eine Modulation der P300-Komponente durch zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung: Targets am Ende eines kurzen Intervalls, die beachtet/erwartet (valide) erschienen, zeichneten sich durch signifikant frühere und zudem größere Peaks (der Effekt größerer Peaks erreichte nicht das Signifikanz-Niveau) der P300-Komponente aus (verglichen mit Targets, die unbeachtet/unerwartet (invalide) erschienen). Für Targets am Ende des langen Intervalls wurde kein solcher Effekt gefunden. Die beiden frühen EKP-Komponenten, N1 und P1, zeigten keinerlei Beeinflussung durch zeitliche Aufmerksamkeit, weder bezüglich der Peaks noch bezüglich der Latenzen. Das Ausbleiben eines Aufmerksamkeitseffektes innerhalb der frühen Kom-

ponenten der EKP stellt einen Unterschied zu den Befunden zur räumlichen Aufmerksamkeitsorientierung dar. In verschiedenen Studien (z.B. Hillyard et al., 1973; Mangun, 1995; Van Voorhis & Hillyard, 1977) konnte eine verbesserte Reizverarbeitung durch räumliche Aufmerksamkeitsorientierung bereits an frühen (mit der Reizwahrnehmung assoziierten) EKP-Komponenten nachgewiesen werden. Die Befunde von Miniussi et al. (1999) zeigten hingegen lediglich eine Modulation der späteren, mit der Reaktion assoziierten P300-Komponente. Die Autoren interpretierten ihre Befunde dahingehend, dass selektive zeitliche Aufmerksamkeit, anders als selektive räumliche Aufmerksamkeit, die Reizwahrnehmung nicht beeinflusst. Wengleich diskutiert wurde, dass die foveale Präsentation der Stimuli dazu geführt haben könnte, dass die visuelle Wahrnehmung der Stimuli bereits optimal war und daher keinerlei Verbesserung mehr bedurfte, beziehungsweise diese zu gering ausgeprägt war, um in der Messung aufzufallen (im Sinn eines *Deckeneffekts*).

Die verkürzte Latenz und der größere Peak (nicht signifikant) der P300-Komponente valider Targets wurde als Ausdruck verbesserter motorischer Vorbereitung verstanden. Analog zum Befund verkürzter Reaktionszeiten auf valide Targets in den Verhaltensdaten, war der P300-Effekt ausschließlich für Targets nach dem kurzen Intervall zu beobachten und schien somit das elektrophysiologische Korrelat des in den Reaktionszeiten beobachteten Verarbeitungsvorteils valider Targets darzustellen. Eine Vergrößerung der P300-Amplitude für valide Targets wurde auch in Studien zur räumlichen Aufmerksamkeit berichtet (eine Übersicht bieten Näätänen, Teder, Alho, & Lavikainen, 1992). Im Unterschied zu den Effekten selektiver räumlicher Aufmerksamkeit berichteten Miniussi et al. (1999) zudem eine verkürzten Latenz der P300-Amplitude für valide Targets. Ein Befund, der im Zusammenhang mit räumlicher Aufmerksamkeitsorientierung nicht berichtet wurde und von den Autoren daher als weiterer Hinweis dafür interpretiert wurde, dass selektive zeitliche Aufmerksamkeit die Reizverarbeitung auf andere Weise beeinflusst als selektive räumliche Aufmerksamkeit. Da in Studien mit einem *Go/No-Go-Design* – also einer Diskriminationsaufgabe, in der eine Art von Reizen eine Reaktion erfordert, während auf eine andere Art von Reizen nicht reagiert werden soll – gezeigt werden konnte, dass sich die P300-Komponente für Reize, die eine Reaktion erfordern (Go-Reize), durch frühere und topographisch weiter posterior ausgeprägte Peaks auszeichnete als die P300 für No-Go-Reize, die keine Reaktion erforderten (z.B.

Simson, Vaughan, & Ritter, 1977), folgerten die Autoren, dass möglicherweise die verkürzte Peak-Latenz für valide Targets nach dem kurzen Intervall durch Unterschiede in dem Entscheidungs- oder Vorbereitungsprozess der Reaktion zustande kamen.

Auch innerhalb der N2-Komponente wurde ein Effekt zeitlicher Aufmerksamkeit für Targets nach dem kurzen Intervall gefunden: Invalide Targets lösten eine negativere N2-Komponente an posterioren Elektroden aus als valide Targets. Die Autoren interpretierten diesen Befund als Abbild einer Verletzung der Erwartung bezüglich einer Reizassoziation, welche eine Reaktion determiniert (vergleiche Nobre, Coull, Frith, & Mesulam, 1999).

Zusammenfassend schlossen Miniussi et al. (1999) aus ihren Befunden, dass zeitliche Aufmerksamkeit primär Prozesse der Entscheidung oder Reaktionsvorbereitung beeinflusst. Somit sollen sich zeitliche und räumliche Aufmerksamkeit unterschiedlich auf die Reizverarbeitung auswirken. Durch selektive Aufmerksamkeit sollen sowohl Prozess-Stufen der Reizwahrnehmung beeinflusst werden können als auch reaktionsbezogene Stufen der Reizverarbeitung (wie etwa Entscheidungsprozesse und motorische Vorbereitung einer Reaktion), abhängig davon, ob die Aufmerksamkeitsorientierung anhand zeitlicher oder räumlicher Informationen erfolgt.

In einer nachfolgenden Studie nahmen **Griffin et al. (2002)** den Kritikpunkt, die foveale Darbietung der Stimuli habe das Messen früher EKP-Modulationen verhindert, zum Anlass ihrer Studie, um weitere Erkenntnisse bezüglich der Frage zu gewinnen, ob der Verarbeitungsvorteil durch selektive zeitliche und räumliche Aufmerksamkeit, welcher sich anhand der Verhaltensdaten nachweisen lässt, aus dem gleichen Aufmerksamkeitsprozess resultiert oder sich beide grundlegend unterscheiden.

In zwei Experimenten mit der Cueing-Aufgabe untersuchten die Autoren den Einfluss zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung auf die Verarbeitung visueller Stimuli anhand von EKP- und Verhaltensdaten. Das erste Experiment unterteilte sich in zwei Bedingungen, die in zwei unabhängigen Sitzungen durchgeführt wurden. In der zeitlichen Bedingung kündigte ein Cue das Erscheinen eines Targets an einem bestimmten Zeitpunkt (600 oder 1200 ms nach dem Cue) an und enthielt keinerlei Information über die räumliche Position. In der räumlichen Bedingung wurde hingegen der Ort des Targets (links oder rechts) durch den Cue angekündigt. Eine Information darüber, zu welchem

Zeitpunkt das Target erscheinen würde, wurde nicht gegeben. Während die Versuchspersonen ein zentral dargebotenes Kreuz fixieren sollten und auch der Cue-Reiz zentral (auf der Position des Fixationskreuzes) dargeboten wurde, wurden bilateral durchgehend zwei leere Felder (Quadrate) präsentiert. Auf einen Cue hin folgten sowohl nach 600 ms als auch nach 1200 ms zwei Reize (konzentrische Quadrate) innerhalb der bilateralen Felder. Das Target unterschied sich von den übrigen Reizen allein dadurch, dass eines der konzentrischen Quadrate fehlte und war somit schwer zu diskriminieren. In einem Verhaltensexperiment sollten die Versuchspersonen eine reine Detektionsaufgabe ausführen, indem sie eine Taste drückten sobald ein Target erschien. In einem anschließend durchgeführten EEG-Experiment sollten Versuchspersonen hingegen nur dann reagieren, wenn das Target valide angekündigt war (Validität: 75 %).

Die Verhaltensdaten zeigten erneut einen Verarbeitungsvorteil für valide angekündigte Targets gegenüber invalide angekündigten Targets in Form kürzerer Reaktionszeiten. Dieser aufmerksamkeitsbedingte Verarbeitungsvorteil zeigte sich – wie aus der Literatur bekannt – in der zeitlichen Bedingung nur für jene Targets, die nach einem kurzen Intervall erschienen. In der räumlichen Bedingung zeigte sich der Aufmerksamkeitseffekt in den Reaktionszeiten uneingeschränkt. In der zeitlichen Bedingung wurden zudem geringere Fehlerraten für validen Targets beobachtet (der Aufmerksamkeitseffekt für die Genauigkeit erreichte allerdings nicht ganz das Signifikanzniveau).

Des Weiteren wurden die EKP von Standard-Reizen nach dem kurzen Intervall untersucht, also jenen Reizen am Ende eines kurzen Intervalls, die keine Targets waren und somit keine Reaktion erforderten. Für die räumliche Bedingung fand sich eine erhöhte P1-Amplitude für beachtete Reize gegenüber unbeachteten Reizen (im linken visuellen Feld) sowie eine erhöhte N1-Amplitude für beachtete gegenüber unbeachteten Reizen (im rechten visuellen Feld). Für die P300-Komponente wurden keine Aufmerksamkeitseffekte beobachtet: Amplitude, Peak und Latenz wurden nicht durch räumliche Aufmerksamkeit moduliert. Für die zeitliche Bedingung zeigte sich eine negativere N1-Amplitude (meanAmp und Peak) für beachtete Standard-Reize nach dem kurzen Intervall mit einer bilateralen okzipitalen Topographie. Zudem ergab sich eine Modulation der P300-Komponente. Diese zeigte einen früheren und größeren (positiveren) Peak für beachtete Standard-Reize. Die P1-Komponente zeigte keinerlei Modulation durch zeitliche Aufmerksamkeit.

Die Autoren schlossen aufgrund der Befundlage, dass der in den Verhaltensdaten beobachtbare Verarbeitungsvorteil durch selektive zeitliche und räumliche Aufmerksamkeit tatsächlich über unterschiedliche Prozesse vermittelt wird.

Die Tatsache, dass in der zeitlichen Bedingung eine Modulation der N1-Komponente für valide Targets nach dem kurzen Intervall gefunden wurde, wurde als Hinweis darauf interpretiert, dass zeitliche Aufmerksamkeit die visuelle Wahrnehmung (peripherer) Reize beeinflusst. Die Daten unterstützen somit die Vermutung, das Ausbleiben einer Modulation früher, visueller Komponenten in der Studie von Miniussi et al. (1999) sei der fovealen Darbietung der Reize geschuldet. Die nicht lateralisierte Topographie des N1-Effektes soll dabei auf eine eher allgemeine Verbesserung der visuellen Wahrnehmung hindeuten, die unabhängig von bestimmten Reizeigenschaften zu sein scheint. Selektive zeitliche Aufmerksamkeit beeinflusse demnach die visuelle Verarbeitung, ähnlich wie selektive räumliche Aufmerksamkeit, allerdings soll dieser Einfluss weniger spezifisch ablaufen.

In einem zweiten Experiment (Griffin et al., 2002, Experiment 2) sollten die Befunde auf weitere Generalisierbarkeit hin untersucht werden. Die Aufgabe wurde dahingehend modifiziert, dass die Reize nun unilateral dargeboten wurden. Während der Cue wieder zentral präsentiert wurde, erschien der zweite Reiz (Target oder Standard-Reiz) nur nach einem der beiden Intervalle und nur unilateral (links oder rechts). Die Auftretenswahrscheinlichkeit eines Reizes nach einem kurzen Intervall betrug 50 %. Insgesamt gab es nur wenige Durchgänge mit Targets (19 %). Valide Targets sollten wieder per Tastendruck detektiert werden.

Die EKP-Daten zeigten für die räumliche Bedingung keinen Aufmerksamkeitseffekt bezogen auf die P1-Komponente, aber eine erhöhte N1-Amplitude für valide Reize sowie eine Erhöhung der P300-Amplitude für invalide Reize. In der zeitlichen Bedingung zeigte sich keine Modulation der P1- oder N1-Komponente durch Aufmerksamkeitsorientierung. Gefunden wurde eine erhöhte N2-Amplitude für invalide Reize sowie ein früherer Peak der P300-Komponente für valide Reize.

Das Ausbleiben eines *frühen Aufmerksamkeitseffektes* (im Sinne einer Modulation der P1- oder N1-Komponenten) in der zeitlichen Bedingung des zweiten Experimentes widerspricht der Annahme, selektive zeitliche Aufmerksamkeit beeinflusse die Reizwahrnehmung, wie es die Befunde aus Experiment 1 (Griffin et al., 2002) nahe gelegt hatten.

Bezogen auf die Frage, welche Stufen der Reizverarbeitung durch selektive zeitliche Aufmerksamkeit beeinflusst werden und inwieweit dies der Beeinflussung durch selektive räumliche Aufmerksamkeit entspricht, ergeben sich somit weitere Hinweise darauf, dass die Auswirkungen selektiver zeitlicher Aufmerksamkeit später innerhalb der Reizverarbeitung stattfinden und somit eher entscheidungs- und reaktionsbezogene Prozesse beeinflusst werden (Griffin et al., 2002, Experiment 2; Miniussi et al., 1999), während selektive räumliche Aufmerksamkeit bereits frühe Stufen der Reizverarbeitung zu modulieren scheint (siehe z.B. Eimer, 1998; Mangun, 1995). Es gibt dennoch Hinweise, dass selektive zeitliche Aufmerksamkeit unter bestimmten Bedingungen auch die Reizwahrnehmung verbessert, etwa wenn Reize bilateral dargeboten werden und schwer zu diskriminieren sind (Griffin et al., 2002).

Belege für die Annahme, dass selektive zeitliche Aufmerksamkeit frühe Stufen der Reizverarbeitung beeinflusst, wenn Reize schwer zu diskriminieren sind beziehungsweise die Wahrnehmung anspruchsvoll gestaltet ist, finden sich auch in der Studie von **Correa, Lupiáñez, Madrid und Tudela (2006)**. Da räumliche Information retinotop im visuellen System repräsentiert ist, die Repräsentation zeitlicher Informationen hingegen unterschiedliche Strukturen, wie etwa das Cerebellum, die Basalganglien sowie Bereiche des fronto-parietalen Cortex mit einschließen soll (Ivry & Spencer, 2004), vermuteten die Autoren, dass selektive zeitliche Aufmerksamkeit – anders als selektiv räumliche Aufmerksamkeit – kaum Einfluss auf die Reizwahrnehmung ausübe. Aufgrund der empirischen Nachweise von Modulationen früher Komponenten im EKP (z.B. Griffin et al., 2002, Experiment 1) stellten die Autoren die Vermutung auf, selektive zeitliche Aufmerksamkeit beeinflusse die Stimulus-Wahrnehmung nur dann, wenn der Wahrnehmungsprozess der Aufgabe anspruchsvoll (*perceptually demanding*) sei. In ihrer Cueing-Aufgabe wurden alle Reize zentral dargeboten. Als Cue-Reiz erschien das Wort *früh* (spanisch: *pronto*) oder *spät* (*tarde*) auf dem Bildschirm. Das zu beachtende Intervall blieb für die Dauer eines gesamten Blocks konstant. So gab es Blöcke, in denen der Cue immer das kurze Intervall ankündigte und Blöcke, in denen der Cue immer das lange Intervall ankündigte, die alternierend präsentiert wurden. Ein Target folgte auf den Cue nach einem von drei möglichen Zeitintervallen (SOA: 450, 950, 1450 ms). Bei dem Target handelte es sich entweder um den Buchstaben *X* oder um den Buchstaben

O. In einer Wahlreaktionsaufgabe sollten sie Versuchspersonen zwischen den beiden Targets diskriminieren, indem sie die linke oder rechte Taste auf einer Antwortbox drückten, abhängig vom jeweiligen Target. Die kurze Präsentationsdauer des Targets (100 ms) in Kombination mit einer Diskriminationsaufgabe diente der Operationalisierung eines anspruchsvollen Wahrnehmungsprozesses. Als valide Bedingungen galten die Kombinationen des frühen Cues (*pronto*) mit dem 450 ms SOA und die Kombination des späten Cues (*tarde*) mit dem 1450 ms SOA. Zu der invaliden Bedingung zählten jeweils die beiden nicht angekündigten SOAs auf den frühen beziehungsweise späten Cue hin. Durchgänge, in denen das Target auf das mittlere SOA (950 ms) hin folgte, waren immer invalide. Der Anteil an validen Trials lag bei 66 %, der Anteil an invaliden Trials lag bei 22 %. Zudem gab es Catch Trials (12 %), in denen keines der beiden Targets erschien.

In den Verhaltensdaten konnte der typische Effekt zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung repliziert werden. Die Versuchspersonen reagierten signifikant schneller auf valide als auf invalide Reize. Entgegen den in der Literatur berichteten Befunden traf dieser Verarbeitungsvorteil valide gegenüber invalide angekündigter Targets in dieser Studie nicht nur für Targets zu, die am Ende des kurzen Intervalls erschienen. Auch für Targets am Ende des langen Intervalls konnten signifikant kürzere Reaktionen auf valide Targets beobachtet werden, wenngleich der Aufmerksamkeitseffekt für die Reize nach dem langen Intervall kleiner ausfiel als der Effekt für die Reize, die nach einem kurzen Intervall erschienen. Dieser Befund eines Aufmerksamkeitseffektes für Targets am Ende des langen Intervalls wurde von den Autoren mit der Verwendung von Catch Trials erklärt, welche die Neuorientierung von Aufmerksamkeit unterbunden haben sollen. Nach der Idee von Coull und Nobre (1998) ist das Ausbleiben eines Verarbeitungsvorteils für valide angekündigte Targets am Ende des langen Intervalls dadurch zu erklären, dass – im invaliden Fall – bei Nichterscheinen eines Targets am Ende des kurzen Intervalls aufgrund der Sicherheit, dass das Target nun am Ende des langen Intervalls erscheinen wird, die Aufmerksamkeit neu orientiert wird, hin zum Zeitpunkt am Ende des langen Intervalls. Diese Sicherheit soll in der Studie von Correa et al. (2006) nun durch die Verwendung von Catch Trials soweit reduziert worden sein, dass es nicht zu einer Neuorientierung der Aufmerksamkeit kam. Somit waren die invalide angekündigten Targets am Ende des langen Intervalls nicht im Fokus der Aufmerksamkeit, anders als

die valide angekündigten Targets, so dass ein Verarbeitungsvorteil der validen Targets beobachtet werden konnte (vergleiche auch Correa et al., 2004). Dieser Einfluss von Catch Trials auf die Neuorientierung von Aufmerksamkeit wurde in anderen Studien nicht berichtet (z.B. Miniussi et al., 1999).

Die EKP-Daten zeigten eine größere P1-Amplitude für Targets, die zum angekündigten Zeitpunkt erschienen, verglichen mit Targets, die früher als erwartet erschienen. Außerdem zeigte die N2-Komponente einen kleineren und früheren Peak für valide Targets (verglichen mit invaliden Targets). Darüber hinaus zeigte auch die P300-Amplitude eine Modulation durch zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung in Form einer verkürzten Peak-Latenz für valide Targets und einer größeren Amplitude für invalide Targets.

Die Tatsache, dass die Amplitude der P300-Komponente für invalide Targets größer war als für valide, widerspricht den Befunden aus vorherigen Studien zur zeitlichen Aufmerksamkeitsorientierung, in denen kein Unterschied zwischen validen und invaliden Targets bezüglich der P300-Komponente gefunden wurde (Doherty, Rao, Mesulam, & Nobre, 2005; Griffin et al., 2002, Experiment 2; Miniussi et al., 1999) beziehungsweise, die eine erhöhte P300-Amplitude für valide Targets berichteten (Griffin et al., 2002, Experiment 1). Einheitlich hingegen scheint der Befund einer verkürzten Peak-Latenz der P300-Komponente für valide Targets, der dahingehend interpretiert wurde, dass zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung Entscheidungs- und Reaktionsvorbereitungsprozesse synchronisiert und verbessert (Miniussi et al., 1999).

Der von Correa et al. (2006) berichtete Befund einer größeren P1-Amplitude für valide Targets wurde als Hinweis darauf interpretiert, dass zeitliche Aufmerksamkeit zu verbesserter Reizwahrnehmung geführt hat. Bezogen auf die Frage, welche Stufen der Reizverarbeitung durch selektive zeitliche Aufmerksamkeit beeinflusst werden und ob sich die aufmerksamkeitsbezogene Verbesserung der Reizverarbeitung zwischen zeitlicher und räumlicher Aufmerksamkeit unterscheidet, formulierten die Autoren die Schlussfolgerung, dass selektive zeitliche Aufmerksamkeit sowohl späte (entscheidungs- oder reaktionsbezogene) als auch frühe (wahrnehmungsbezogene) Stufen der Reizverarbeitung moduliert. Anders als bei der räumlichen Aufmerksamkeit findet die Modulation der Reizwahrnehmung durch zeitliche Aufmerksamkeit allerdings nur unter bestimmten Voraussetzungen statt, etwa wenn eine Aufgabe verwendet wird, die einen

anspruchsvollen Wahrnehmungsprozess erfordert (beispielsweise durch schwer zu diskriminierende Reize in einer Wahlreaktionsaufgabe).

Zusammenfassend aus den Befunden der Studien mit der zeitlichen Cueing-Aufgabe lässt sich festhalten, dass ein Konsens darüber besteht, dass spätere Stufen der Reizverarbeitung durch zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung verbessert werden. Dies drückt sich in einer Modulation der P300-Komponente aus und soll die Verbesserung von Verarbeitungsstufen widerspiegeln, die sich auf Entscheidungsprozesse sowie Prozesse der Reaktionsvorbereitung beziehen. Frühe Verarbeitungsstufen scheinen hingegen nur unter besonderen Begebenheiten beeinflusst zu werden, etwa – wie von Correa et al. (2006) vermutet – in Situationen/Aufgaben, in denen die Reizwahrnehmung sehr komplex ist und eine genaue Analyse erforderlich ist.

1.3.5 Das zeitliche Hillyard-Paradigma

Wie oben erwähnt gibt es – neben der zeitlichen Variante der Cueing-Aufgabe – ein weiteres Paradigma, welches zur Untersuchung von zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung verwendet wird: Die zeitliche Version des Hillyard-Paradigmas.

Die bisher berichteten Befunde zum Einfluss selektiver zeitlicher Aufmerksamkeit auf die Reizverarbeitung bezogen sich auf Studien, welche die zeitliche Cueing-Aufgabe verwandten und auf visuelles Stimulus-Material zurückgriffen (Correa et al., 2006; Coull & Nobre, 1998; Griffin et al., 2002; Miniussi et al., 1999). Mit der zeitlichen Hillyard-Aufgabe wurden erstmals auch Effekte selektiver zeitlicher Aufmerksamkeit auf die Verarbeitung akustischer Reize untersucht. Die Befunde aus Studien mit dieser Aufgabe ergeben ein anderes Befundmuster und lassen somit andere Schlussfolgerungen bezüglich der Frage zu, welche Verarbeitungsstufen durch zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung beeinflusst werden.

Bei dem zeitlichen Hillyard-Paradigma, welches zur Untersuchung selektiver zeitlicher Aufmerksamkeit eingesetzt wird, handelt es sich um eine Variation des räumlichen Aufmerksamkeitsparadigmas, welches erstmals von Hillyard et al. (1973) vorgestellt wurde. Lange, Rösler und Röder (2003) übertrugen dieses Paradigma zur Untersuchung selektiver auditiver Aufmerksamkeit erstmals auf zeitliche Informationen: Den Ver-

suchspersonen wurden Paare von akustischen Reizen (weißes Rauschen) dargeboten. Jeweils zwischen den beiden Reizen eines Paares lag ein (leeres) Zeitintervall. Die Paare bestanden aus einem *Onset*-Reiz, welcher den Beginn des Zeitintervalls markierte, und einem *Offset*-Reiz, welcher am Ende des Intervalls erschien. Zur besseren Unterscheidbarkeit der beiden Reiztypen wurden Onset-Reize binaural präsentiert, während die Offset-Reize monaural in der Hälfte der Trials auf dem linken Ohr und in der anderen Hälfte der Trials auf dem rechten Ohr präsentiert wurde. Die beiden Reize (Onset- und Offset-Reiz) konnten durch eines von zwei unterschiedlich langen Zeitintervallen (SOAs) getrennt sein. Das kurze SOA war 600 ms lang, das lange SOA hatte eine Dauer von 1200 ms. Die Versuchspersonen wurden instruiert, für einen Block des Experimentes jeweils entweder das lange oder das kurze Intervall zu beachten. Das zu beachtende Intervall wechselte alternierend zwischen den Experimentalblöcken. Versuchspersonen musste also ihre Aufmerksamkeit für die Dauer eines Blocks entweder auf das 600-ms-SOA oder das 1200-ms-SOA orientieren. Ihre Aufgabe bestand darin, auf abweichende (lautere) Reize (*Deviants*) mittels Tastendruck zu reagieren, die nach dem beachteten Intervall erschienen. Deviants, die nach einem nicht beachteten Intervall erschienen, erforderten keine Reaktion. Somit konnten Reize am Ende des nicht beachteten Intervalls vollständig ignoriert werden.

Effekte zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung werden in diesem Paradigma über einen Vergleich der EKP von Standard-Reizen der beachteten und der nicht beachteten Bedingung untersucht. Verglichen werden somit – analog zum Cueing-Paradigma – physikalisch identische Reize, die sich dadurch unterscheiden, ob der Zeitpunkt ihres Erscheinens von den Versuchspersonen beachtet wurden oder nicht beachtet wurde. So vergleicht man etwa EKP auf Standard-Reize, welche 600 ms nach Erscheinen des ersten Reizes präsentiert wurde, wenn dieser Zeitpunkt beachtet werden sollte, mit EKP des exakt gleichen Reizes (600 ms nach Erscheinen des ersten Reizes) wenn der andere Zeitpunkt (1200 ms) beachtet werden sollte. Effekte zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung auf Verhaltensdaten, wie Reaktionszeiten oder Fehlerraten, können mit dieser Aufgabe nicht untersucht werden, da die Standard-Reize keinerlei Reaktionen erfordern, ein Vergleich beachteter und unbeachteter Deviants aber nicht zulässig wäre, da beachtete Deviants eine Reaktion erfordern, während dies für unbeachtete Deviants nicht zutrifft.

1.3.6 EKP-Befunde zum zeitlichen Hillyard-Paradigma

Lange et al. (2003) fanden mit der oben beschriebenen Aufgabe eine erhöhte N1-Amplitude für beachtete gegenüber unbeachteten Standard-Reizen an frontalen und anterior-temporalen Elektroden. Dieser Effekt war für das kurze Intervall stärker über der rechten Hemisphäre nachweisbar, für das lange Intervall hingegen ergab sich eine Lateralisierung über der linken Hemisphäre. Zudem zeigte sich eine Modulation der Amplitude im Zeitbereich der P300 durch Aufmerksamkeit in Form einer erhöhten Amplitude für beachtete gegenüber unbeachteten Reizen. Dieser Effekt war für das kurze Intervall auf posteriore Elektroden beschränkt, während er sich für das lange Intervall auch auf anteriore Elektroden ausbreitete. Die hier berichteten Aufmerksamkeitseffekte im Zeitbereich der N1- und der P300-Komponente legen nahe, dass durch selektive zeitliche Aufmerksamkeit sowohl späte, entscheidungs- und reaktionsbezogene, Prozessstufen der akustischen Reizverarbeitung moduliert wurden als auch frühe Prozessstufen, die mit der Reizwahrnehmung assoziiert sind, ähnlich wie es für selektive räumliche Aufmerksamkeit gezeigt wurde (Hillyard et al., 1973).

Während die Modulation später Komponenten der EKP im Zeitbereich der P300 durch selektive zeitliche Aufmerksamkeit konsistent berichtet wurde (Correa et al., 2006; Griffin et al., 2002, Experiment 1; Miniussi et al., 1999), ist die Befundlage bezüglich der Beeinflussung früher (perzeptueller) Komponenten durch selektive zeitliche Aufmerksamkeit uneindeutig. Einige Studien berichteten Aufmerksamkeitseffekte in frühen Komponenten der EKP (Correa et al., 2006; Griffin et al., 2002, Experiment 1) und sprechen somit für eine Beeinflussung sensorischer Prozesse durch zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung (vergleiche auch Correa et al., 2005), während andere Studien keinen Nachweis für die Beeinflussung früher EKP-Komponenten berichten (Griffin et al., 2002, Experiment 2; Miniussi et al., 1999). Die Befunde aus der Studie von Lange et al. (2003) deuten in die Richtung, dass auch frühe Prozesse dem Einfluss zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung unterliegen. Eine Modulation der auditiven N1-Komponente durch selektive zeitliche Aufmerksamkeit konnte in weiteren Studien repliziert werden. So wurde in weiteren Experimenten mit akustischen Reizen und dem zeitlichen Hillyard-Paradigma neben der Modulation später Entscheidungs- oder Reaktionsprozesse (in Form einer Modulation der P300) zusätzlich eine erhöhte N1-

Amplitude in den EKP beachteter (verglichen mit den EKP unbeachteter) Standard-Reize beobachtet (Lange, Krämer, & Röder, 2006; Lange & Röder, 2006; Röder, Krämer, & Lange, 2007).

Mit einer leichten Abwandlung der zeitlichen Hillyard-Aufgabe untersuchten **Sanders und Astheimer** (2008) den Einfluss zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung auf die Verarbeitung akustischer Stimuli in einem Design mit drei unterschiedlich langen Zeitintervallen. Das SOA zwischen den beiden Reizen eines Trials konnte 500 ms, 1000 ms oder 1500 ms betragen. Das Auftauchen eines Fixationskreuzes auf dem Bildschirm markierte den Beginn eines Intervalls, dessen Ende durch das Erscheinen eines Tons markiert wurde. Bei dem Ton, welcher am Ende eines Intervalls erschien, handelte es sich in 80 % der Trials um einen Standard-Ton. In 20 % der Trials erschien ein abweichender Ton (Deviant). Eines der Worte *kurz*, *mittel* oder *lang* (*short*, *middle*, *long*) wurden jeweils vor einem Versuchsblock auf dem Bildschirm präsentiert, um den Versuchspersonen zu signalisieren, welches Intervall in einem Block beachtet werden sollte. Die Aufgabe bestand darin, auf Deviants zu reagieren, die zum beachteten Zeitpunkt, also am Ende des zu beachtenden Intervalls erschienen.

Die EKP von Standard-Reizen zeigten keinerlei Modulation der P1-Komponente durch zeitliche Aufmerksamkeit. Die N1-Komponente hingegen zeigte signifikante Unterschiede zwischen beachteten und unbeachteten Standard-Reizen an allen drei Zeitpunkten (500 ms, 1000 ms, 1500 ms nach Erscheinen des Fixationskreuzes). So fand sich eine erhöhte N1-Amplitude für beachtete gegenüber unbeachteten Reizen. Dieser Amplitudenunterschied war besonders über anterioren und zentralen Regionen ausgeprägt. Zudem wurde eine Modulation der P2-Amplitude durch zeitliche Aufmerksamkeit für Standard-Reize am Ende des kurzen Intervalls beobachtet. Darüber hinaus zeigten Reize am Ende des langen Intervalls eine Modulation der N2-Komponente. Diese zeichnete sich durch einen früheren Peak und eine kleinere Amplitude für beachtete Reize aus. Anders als die Deviants evozierten die Standard-Reize keine P300-Amplitude und zeigte keinerlei Modulation der Amplitude im Zeitbereich der P300-Komponente durch zeitliche Aufmerksamkeit.

Die Autoren konnten somit zeigen, dass auch in einem Versuchsdesign mit drei verschiedenen Zeitintervallen der Effekt einer Modulation früher auditiver Reizverarbei-

tung durch zeitliche Aufmerksamkeit beobachtet werden kann. Dies lässt darauf schließen, dass selektive zeitliche Aufmerksamkeit tatsächlich den Wahrnehmungsprozess eines Reizes moduliert, der zu einem spezifischen Zeitpunkt erscheint, der frühe Aufmerksamkeitseffekt also flexibel und spezifisch zu sein scheint und nicht etwa nur grob zwischen Reizen vor und nach einem bestimmten, fixen Zeitpunkt differenziert.

1.3.7 Zusammenfassung der Befunde zur selektiven zeitlichen Aufmerksamkeit

Ausgehend von der Frage, welche Prozesse der Reizverarbeitung durch selektive zeitliche Aufmerksamkeit beeinflusst werden und inwieweit dieser Mechanismus dem der selektiven räumlichen Aufmerksamkeit entspricht, wurden die Befunde der aktuellen Forschung berichtet. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Ergebnisse aus Studien, welche die Cueing-Aufgabe und visuelle Stimuli verwendeten, konsistent Modulationen später EKP-Komponenten berichten (Correa et al., 2006; Griffin et al., 2002; Miniussi et al., 1999), welche als Abbild verbesserter Entscheidungs- und Reaktionsprozesse interpretiert werden (siehe auch Correa et al., 2005; Doherty et al., 2005). Inkonsistent hingegen ist die Befundlage bezüglich des Einflusses selektiver zeitlicher Aufmerksamkeit auf frühe Komponenten, welche mit Wahrnehmungsprozessen assoziiert sind. Während es Studien gibt, die keinerlei Modulation früher EKP-Komponenten mit der zeitlichen Cueing-Aufgabe berichten (Griffin et al., 2002, Experiment 2; Miniussi et al., 1999), finden andere Autoren frühe Effekte zeitlicher Aufmerksamkeit in Form einer erhöhten N1-Amplitude (Griffin et al., 2002, Experiment 1) oder einer Modulation der P1-Komponente (Correa et al., 2006). Zusammenfassend werden die Befunde aus den Studien zum zeitlichen Cueing dahingehend interpretiert, dass selektive zeitliche Aufmerksamkeit, anders als selektive räumliche Aufmerksamkeit, frühe Prozesse der Reizverarbeitung nur unter bestimmten Voraussetzungen moduliert, etwa dann, wenn der Wahrnehmungsprozess aufgrund der Aufgabenstellung oder des verwendeten Stimulus-Materials anspruchsvoll ist (Correa et al., 2006)

Die Befunde, welche mittels des zeitlichen Hillyard-Paradigmas unter der Verwendung akustischer Reize beobachtet wurden, stehen im Widerspruch zu dieser Annahme. Über verschiedene Studien hinweg wurde neben späten Aufmerksamkeitseffekten (Modulati-

on im Zeitbereich der P300-Komponente) zusätzlich eine Modulation der auditiven N1-Komponente durch zeitliche Aufmerksamkeit berichtet (Lange et al., 2006; Lange & Röder, 2006; Lange et al., 2003; Röder et al., 2007; Sanders & Astheimer, 2008), ähnlich wie es auch für räumliche Aufmerksamkeit berichtet wurde (z.B. Giard, Perrin, Pernier, & Peronnet, 1988; Hillyard et al., 1973; Näätänen, Gaillard, & Mäntysalo, 1978; Woldorff & Hillyard, 1991, siehe auch Näätänen & Picton, 1987). Die Befundlage dieser Studien legt somit die Vermutung nahe, dass durch selektive zeitliche Aufmerksamkeit sowohl späte als auch frühe Stufen der Reizverarbeitung moduliert werden, ähnlich wie es für selektive räumliche Aufmerksamkeit berichtet wurde.

1.4 Entwicklung der Fragestellung

Die anfangs gestellte Frage danach, in welcher Art und Weise selektive zeitliche Aufmerksamkeit sich auf die Reizverarbeitung auswirkt, welche Prozesse dabei beeinflusst werden und inwieweit sich die Wirkungsweise selektiver zeitlicher Aufmerksamkeit mit der selektiver räumlicher Aufmerksamkeit deckt, lässt sich auf der Grundlage der hier berichteten Befunde nur unbefriedigend beantworten. Fraglich ist, wie es zu den Widersprüchen in den Befunden kam und welcher oder welche Parameter determinieren, ob durch selektive zeitliche Aufmerksamkeit frühe Prozesse der Reizverarbeitung, etwa die Reizwahrnehmung, beeinflusst werden oder nicht.

Vergleicht man die Studien, welche frühe Effekte zeitlicher Aufmerksamkeit berichteten, mit denen, in denen sich keine Modulation früher EKP-Komponenten zeigte, fallen drei Merkmale auf, in denen sich die Experimente unterscheiden:

Zunächst ist auffällig, dass Studien, die akustisches Reiz-Material verwendeten, konsistent frühe Aufmerksamkeitseffekte berichten, während dies für Studien mit visuellen Reizen nicht zutrifft. Eine mögliche Erklärung für das Zustandekommen der widersprüchlichen Befunde könnte somit in der Sinnesmodalität liegen, an welche sich das Stimulus-Material richtet. Möglicherweise lässt sich die Wahrnehmung akustischer Reize besser/leichter durch eine Fokussierung der Aufmerksamkeit auf den Zeitpunkt, an welchem der Reiz erscheint, beeinflussen als die Wahrnehmung visueller Stimuli. Eine Dominanz der auditiven gegenüber der visuellen Modalität ist beispielsweise für die Genauigkeit bei der Diskrimination von Zeitintervallen bekannt (Grondin, Meilleur-

Wells, Ouellette, & Macar, 1998; Grondin & Rousseau, 1991; Rousseau, Poirier, & Lemyre, 1983; Westheimer, 1999), so dass es denkbar wäre, dass zeitliche Aufmerksamkeit auf die auditive Wahrnehmung leichter Einfluss nehmen kann als auf die visuelle Wahrnehmung (vergleiche Lange et al., 2003).

Neben der *Stimulus-Modalität* unterscheiden sich die Studien, welche widersprüchliche Befunde bezüglich der Frage liefern, ob frühe Reizverarbeitungsstufen durch selektive zeitliche Aufmerksamkeit beeinflusst werden, zusätzlich in den verwendeten experimentellen Designs. Wie oben erwähnt findet sich mit der zeitlichen Hillyard-Aufgabe konsistent eine Modulation früher Prozess-Stufen durch zeitliche Aufmerksamkeit, während dies für Studien mit der zeitlichen Cueing-Aufgabe nicht zutrifft. Möglicherweise ist der entscheidende Faktor, welcher die Modulation früher, sensorischer Prozesse durch zeitliche Aufmerksamkeit determiniert, also zu identifizieren, indem man die Unterschiede der experimentellen Designs extrahiert, mit denen konsistent frühe Aufmerksamkeitseffekte berichtet wurden (zeitliche Hillyard-Aufgabe) und denen, für die dies nicht zutrifft (zeitliche Cueing-Aufgabe). Hierbei sind besonders zwei große Unterschiede zu nennen.

Zum einen unterscheiden sich die beiden experimentellen Paradigmen in der *Art der Aufmerksamkeitsorientierung*. Während in der Cueing-Aufgabe der Aufmerksamkeitsfokus der Information des Cues folgend für jedes einzelne Trial neu orientiert werden muss, wird in der zeitlichen Hillyard-Aufgabe ein bestimmtes Zeitintervall für die Dauer eines gesamten Blocks konstant fokussiert. Es ist denkbar, dass eine solche, dauerhafte Fokussierung der Aufmerksamkeit auf ein Zeitintervall die Modulation von Reizwahrnehmungsprozessen eher begünstigt. Übereinstimmend mit dieser Annahme ist auch der Befund aus der Studie von Correa et al. (2006) zu nennen, in welcher mit einer abgewandelten Cueing-Aufgabe bei der die Probanden ihre Aufmerksamkeit für jeweils einen gesamten experimentellen Block auf eines der beiden verwendeten SOAs ausrichten sollten, frühe Effekte zeitlicher Aufmerksamkeit (in Form einer Modulation der P1-Komponente) berichtet wurde.

Eine andere mögliche Erklärung für die unterschiedlichen Befunde (und damit potentiell ausschlaggebend für das Auftreten früher Aufmerksamkeitseffekte zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung) könnte auch die *Aufgabenrelevanz unbeachteter Stimuli* sein. In der zeitlichen Hillyard-Aufgabe müssen Versuchspersonen ausschließlich auf

jene abweichenden Zielreize (Deviants) reagieren, die zum beachteten Zeitpunkt auftreten. Da in der Hillyard-Aufgabe Reize am Ende des unbeachteten Intervalls keinerlei Aufgabenrelevanz besitzen (da sie keine Reaktion erfordern), können sie von den Versuchspersonen vollständig ignoriert werden. Diese Aufgabe erlaubt somit ein höheres Maß an Selektivität des Aufmerksamkeitsfokus als etwa die Cueing-Aufgabe, in welcher sowohl valide als auch invalide angekündigte Targets eine Reaktion erfordern. Die Cueing-Aufgabe scheint also eher eine weniger selektive Zuwendung von Aufmerksamkeit auf einem bestimmten Zeitpunkt zu begünstigen. Möglicherweise wird hier eher ein Teilen der Aufmerksamkeit zur parallelen Beachtung sowohl des angekündigten als auch des unangekündigten Zeitpunktes (vergleiche Eimer, 1994, 1996) zur Bewältigung der Cueing-Aufgabe bewirkt. Das Cueing-Paradigma ist daher möglicherweise weniger geeignet, Effekte reiner selektiver zeitlicher Aufmerksamkeit zu untersuchen. Die Forschung zur räumlichen Aufmerksamkeitsorientierung gibt Hinweise darauf, dass eine Beeinflussung früher, sensorischer Prozesse durch Aufmerksamkeit nur dann auftritt, wenn es eine starke Fokussierung der Aufmerksamkeit auf einen Ort gibt. Eine Modulation sensorischer Prozesse wird hingegen nicht beobachtet, wenn die Aufmerksamkeit zwischen der angekündigten und der nicht angekündigten räumlichen Position aufgeteilt werden muss (Eimer, 1994, 1996; Schröger & Eimer, 1997). Darüber hinaus könnte die Tatsache, dass in der Hillyard-Aufgabe unbeachtete Reize vollständig ignoriert werden können, zusätzlich zu einer besseren Unterscheidbarkeit relevanter und irrelevanter Reize beitragen. Eine leichte Unterscheidbarkeit von beachteten und unbeachteten Reizen ist eine der Voraussetzungen, die – neben einer großen Aufgabenschwierigkeit und einem hohen Selektionsdruck (etwa durch schnelle Reizdarbietung) – für das Auftreten früher Aufmerksamkeitseffekte genannt werden (Hillyard et al., 1973; Näätänen, 1990).

1.5 Fragestellung und Zielsetzung der Studien

Die Frage danach, welche Reizverarbeitungsprozesse durch selektive zeitliche Aufmerksamkeit moduliert werden, lässt sich aufgrund der widersprüchlichen Befunde nur unbefriedigend klären. Es sind nun drei potentielle Einflussfaktoren genannt worden, welche für das Zustandekommen dieser uneindeutigen Befundlage verantwortlich sein

könnten und somit das Auftreten früher Effekte zeitlicher Aufmerksamkeit determinieren könnten: Die *Stimulus-Modalität*, die *Art der Orientierung des Aufmerksamkeitsfokus* sowie die *Aufgabenrelevanz der unbeachteten Reize*. Ziel der im Folgenden berichteten Studie war es, mehr über den Einfluss dieser Faktoren auf die Modulation der Reizwahrnehmung durch zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung zu erfahren. Dabei wurde zwischen zwei Experimenten der Faktor der *Aufgabenrelevanz der unbeachteten Reize* experimentell manipuliert.

Es wurde ein akustisches Cueing-Design verwendet. Dieses experimentelle Design sollte eine akustische Entsprechung der visuellen zeitlichen Cueing-Aufgabe darstellen. In einem ersten EEG-Experiment sollte anhand des akustischen Cueing-Designs zunächst überprüft werden, ob die auditive Wahrnehmung durch zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung in einem solchen Paradigma moduliert werden kann, mit welchem frühe Aufmerksamkeitseffekte in der Verarbeitung visueller Reize nicht konsistent berichtet wurden (z.B. Griffin et al., 2002, Experiment 2; Miniussi et al., 1999) und primär späte Stufen der Reizverarbeitung beeinflusst werden sollen (eine Übersicht bietet Correa et al., 2006). Neben der Untersuchung der Frage, ob frühe Prozesse akustischer Reizverarbeitung durch Aufmerksamkeit beeinflusst werden, wenn die Aufmerksamkeit Trial für Trial neu auf eines von zwei Intervallen orientiert werden muss und invalide Reize verhaltensrelevant sind (also mit verarbeitet werden müssen), sollte darüber hinaus der Einfluss auditiver zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung auf Verhaltensdaten, wie Reaktionszeiten und Fehlerraten, überprüft werden. Aufgrund der Tatsache, dass der Einfluss selektiver zeitlicher Aufmerksamkeit auf die Verarbeitung akustischer Reize bisher ausschließlich in dem oben beschriebenen zeitlichen Hillyard-Paradigma untersucht wurde, in welchem unbeachtete Reize keine Reaktion erfordern, konnten Befunde zum Einfluss auf Verhaltensdaten bisher nicht untersucht werden.

In einem zweiten EEG-Experiment wurde das Cueing-Design aus Experiment 1 soweit modifiziert, dass invalide Reize nun keine Reaktion mehr erforderten und somit von den Versuchspersonen vollständig ignoriert werden konnten. Der experimentelle Aufbau des zweiten Experimentes sollte somit dem zeitlichen Hillyard-Paradigma entsprechen, bis auf die Tatsache, dass die Orientierung des Aufmerksamkeitsfokus nicht blockweise sondern Trial für Trial geschieht, der Information des Cues folgend. Da in diesem De-

sign keine Verhaltensdaten zur zeitlichen Aufmerksamkeitsorientierung bestimmt werden können, wurde zunächst ein Verhaltensexperiment vorgezogen.

2 Experiment 1

In einem ersten Experiment sollte der Einfluss zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung auf die Verarbeitung akustischer Reize in einem zeitlichen Cueing-Paradigma mit einer Wahlreaktionsaufgabe untersucht werden.

2.1 Einleitung

Das erste Experiment diente der Untersuchung Effekte zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung auf die Verarbeitung akustischer Stimuli in einem Paradigma, in welchem die Aufmerksamkeit mittels Cue für jedes Trial von neuem auf einen von zwei möglichen Zeitpunkten orientiert wird und in welchem sowohl valide als auch invalide Targets eine Reaktion erfordern.

Effekte zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung auf die Verarbeitung akustischer Reize waren bisher nur in dem zeitlichen Hillyard-Paradigma untersucht worden. In diesen Vorgängerstudien war konsistent eine Beeinflussung sowohl früher als auch später Verarbeitungsstufen berichtet worden, welche sich in der Modulation der N1-Komponente sowie in einer Modulation im Zeitbereich der P300-Komponente (Lange et al., 2006; Lange & Röder, 2006; Lange et al., 2003; Röder et al., 2007) beziehungsweise der P2-Komponente (Sanders & Astheimer, 2008) ausdrückte. Untersuchungen mit dem zeitlichen Cueing-Paradigma wurden bisher nur unter Verwendung visueller Reize durchgeführt. Die Befundlage zum Einfluss zeitlicher Aufmerksamkeit auf die Verarbeitung visueller Reize mit diesem Paradigma legt die Vermutung nahe, dass eher spätere Entscheidungs- oder Reaktionsvorbereitungsprozesse moduliert werden. Frühe Prozesse, wie etwa die Reizwahrnehmung, sollen hingegen nur unter bestimmten Voraussetzungen beeinflusst werden, etwa wenn die verwendete Aufgabe hohe Ansprüche an den Wahrnehmungsprozess stellt (eine Übersicht bietet Correa et al., 2006). In Experiment 1 sollte nun erstmals eine Kombination aus akustischen Reizen und einer zeitlichen Cueing-Aufgabe verwendet werden, um den Einfluss selektiver zeitlicher Aufmerksamkeit zu untersuchen.

Sollten die widersprüchlichen Befunde der vorausgegangenen Experimente dadurch begründet sein, dass die Stimuli in unterschiedlichen Modalitäten dargeboten wurden und sollte damit die Annahme zutreffen, dass sich der Einfluss selektiver zeitlicher Aufmerksamkeit auf die Verarbeitung visueller und akustischer Stimuli grundlegend unterscheidet, insofern als dass der Wahrnehmungsprozess akustischer Reize obligatorisch durch zeitliche Aufmerksamkeit moduliert wird (und dies für die visuelle Wahrnehmung nicht zutrifft), sollte auch in dem hier verwendeten Paradigma ein früherer Aufmerksamkeitseffekt beobachtet werden. In diesem Fall würde, entsprechend der Befundlage aus der Literatur, eine erhöhte N1-Amplitude für beachtete (hier: valide angekündigte) Reize gegenüber unbeachteten (hier: invalide angekündigten) Reizen erwartet werden.

Des Weiteren sollte mittels der hier verwendeten Aufgabe erstmals auch der Einfluss auditiver zeitlicher Aufmerksamkeit auf Verhaltensdaten ermittelt werden. Hierzu lagen zum Zeitpunkt der Durchführung dieser Studie noch keine Befunde vor. Effekte zeitlicher Aufmerksamkeit auf Verhaltensdaten waren bisher ausschließlich für die Verarbeitung visueller Stimuli untersucht worden, da das verwendete Paradigma in den Studien zur auditiven zeitlichen Aufmerksamkeit – wie oben erklärt – keinerlei Rückschlüsse auf Reaktionszeiten oder Fehlerraten zulässt.

Es wurde eine Übertragung der visuellen zeitlichen Cueing-Aufgabe in die auditive Modalität vorgenommen. Zwei unterschiedliche Töne wurden als Cues verwendet. Diese kündigten das Erscheinen eines Targets (weißes Rauschen) nach einem von zwei möglichen Zeitintervallen mit hoher Wahrscheinlichkeit valide an (siehe Abbildung 2). Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand in der Diskrimination zweier gleich häufig auftretender Target-Typen, welche jeweils eine unterschiedliche Reaktion erforderten.

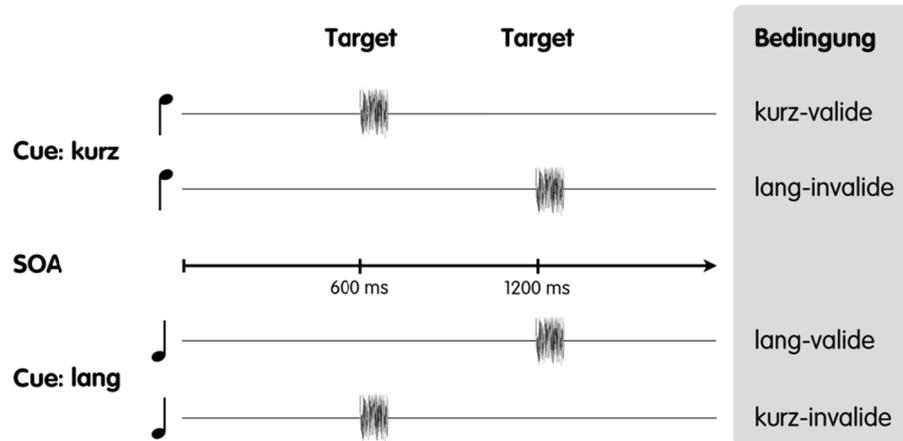


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Struktur der Trials (ohne Catch Trials). Effekte zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung wurden über den Vergleich der Reaktionen und EKP valider und invalider Trials für das kurze Intervall (Vergleich der Bedingungen kurz-valide und kurz-invalide) und das lange Intervall (Vergleich der Bedingungen lang-valide und lang-invalide) ermittelt.

Es wurde erwartet, dass sich, entsprechend der Befunde zum visuellen zeitlichen Cueing, kürzere Reaktionszeiten (vergleiche Correa et al., 2006; Coull & Nobre, 1998; Miniussi et al., 1999) und gegebenenfalls auch weniger Fehler (vergleiche Correa et al., 2005) für valide gegenüber invalide angekündigten Targets zeigen. Sollten frühe, sensorische Prozesse der akustischen Reizverarbeitung unter Verwendung eines Paradigmas, in welchem die Aufmerksamkeit für jedes Trial neu auf einen von zwei Zeitpunkten orientiert werden muss und in dem unbeachtete (invalide) Reize eine Reaktion erfordern, durch zeitliche Aufmerksamkeit moduliert werden, sollte sich eine erhöhte N1-Amplitude in den EKP valider gegenüber invalider Targets zeigen, ähnlich wie es für auditive zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung im Hillyard-Paradigma berichtet wurde (z.B. Lange et al., 2003; Lange et al., 2006; Sanders & Astheimer, 2008). Es wurde zudem eine Modulation der P300-Komponente durch zeitliche Aufmerksamkeit erwartet, in Form einer erhöhten P300-Amplitude in den EKP valider Targets (verglichen mit den EKP invalider Targets), da dieser späte Aufmerksamkeitseffekt bisher unabhängig vom verwendeten Paradigma konsistent berichtet worden war (z.B. Griffin et al., 2002; Lange et al., 2003; Miniussi et al., 1999).

2.2 Methoden

Im Folgenden soll das methodische Vorgehen bei der Durchführung von Experiment 1 beschrieben werden.

2.2.1 Stichprobe

Es wurden die Daten von 28 Versuchspersonen erhoben. Die Daten einer Versuchsperson mussten aufgrund einer zu großen Fehlerrate (mehr als ein Drittel der Reaktionen war falsch) von der Auswertung ausgeschlossen werden, ebenso konnten die Daten drei weiterer Versuchsteilnehmer nicht in die Auswertung mit einbezogen werden, da das EEG zu starke Artefakte aufwies. Die Datenanalysen basierten damit auf einer Stichprobe von 24 Teilnehmern, davon 15 weiblich und 9 männlich, im Alter zwischen 19 und 32 Jahren. Das Durchschnittsalter lag bei 23 Jahren. 20 Teilnehmer waren Rechtshänder, 4 Linkshänder. Alle Teilnehmer berichteten, über ein normales Hörvermögen zu verfügen. Die Sehschärfe war ebenfalls uneingeschränkt beziehungsweise korrigiert. Alle Teilnehmer gaben ein schriftliches Einverständnis ab. Für die Teilnahme erhielten die Teilnehmer Versuchspersonenstunden oder einen Betrag von 14 Euro als Aufwandsentschädigung.

2.2.2 Stimulus-Material und Aufgabe

Trials bestanden aus einem Cue und einem Target. Das Zeitintervall zwischen Cue und Target (SOA) konnte entweder 600 ms oder 1200 ms betragen. Bei dem Cue handelte es sich entweder um einen Geigenton mit 391 Hz (hoher Ton) oder um einen Geigenton mit 261 Hz (tiefer Ton), jeweils mit einer Dauer von 100 ms (erstellt mit Reason 4, Propellerhead, Stockholm, Schweden). Als Target diente ein weißes Rauschen, ebenfalls mit einer Dauer von 100 ms (erstellt mit Adobe Audition 1.5, Adobe Systems, San Jose, USA), welches entweder durchgängig war oder eine 10 ms lange Lücke in der Mitte hatte, welche von den Versuchspersonen als eine Art *Knacken* innerhalb des Rauschens gehört wurde. Alle Reize wurden bilateral über Kopfhörer (Koss 65, Koss Corporation, Milwaukee, USA) dargeboten, mit einem Schalldruckpegel von 50 db (A).

In jedem Trial kündigte der Cue das Erscheinen des Targets entweder nach dem kurzen Intervall (SOA: 600 ms) oder nach dem langen Intervall (SOA: 1200 ms) an. Die Art des Cues bestimmte dabei, welches der beiden Intervalle angekündigt wurde. So kündigte beispielsweise der hohe Cue-Ton das Erscheinen des Targets nach 600 ms an und der tiefe Cue-Ton das Erscheinen des Targets nach 1200 ms. Die Zuordnung von Cue-Ton zu Intervall wurde über die Versuchspersonen hinweg ausbalanciert. Die Information des Cues war in 67 % der Fälle valide, das Target erschien also zum angekündigten Zeitpunkt. In 22 % der Trials erschien das Target invalide, also zum anderen als dem angekündigten Zeitpunkt. Bei den verbleibenden 11 % der Trials handelte es sich um Catch Trials, in denen auf den Cue hin kein Target folgte.

Die Versuchspersonen wurden über die Zuordnung von Cue-Ton zu Zeitintervall informiert und darüber, dass die Information des Cues in den meisten Fällen verlässlich war. Sie wurden ebenfalls über das Erscheinen invalide angekündigter Targets und Catch Trials aufgeklärt. Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand in der Diskrimination der beiden Target-Reize. Sie wurden instruiert, beim Erscheinen eines durchgängigen Targets (lückenloses Rauschen) die rechte Taste einer Antwortbox mit dem rechten Zeigefinger zu drücken und beim Erscheinen eines „Lücken-Targets“ (weißes Rauchen mit Lücke in der Mitte) die linke Taste mit dem linken Zeigefinger zu drücken. Auch die Zuordnung der Reaktion (Druck auf linke oder rechte Taste) zur Art des Targets (mit oder ohne Lücke) wurde über die Versuchspersonen hinweg ausbalanciert. Ein Trial endete mit der Reaktion der Versuchsperson. Erfolgte keine Reaktion, endete das Trial 1000 ms nach Erscheinen des Targets. Das Inter-Trial-Intervall variierte zwischen 500 ms und 1500 ms (im Mittel 1000 ms).

Zur Ermittlung zeitlicher Aufmerksamkeitseffekte wurde ein Vergleich der Verarbeitung valider und invalider Targets vorgenommen. Verglichen wurde dabei also die Verarbeitung von Targets, welche nach dem kurzen Intervall erschienen, nachdem der Cue das kurze Intervall angekündigt hatte (Versuchsbedingung: *kurz-valide*), mit Targets, welches am Ende des kurzen Intervalls erschienen, nachdem der Cue das lange Intervall angekündigt hatte (Versuchsbedingung: *kurz-invalide*). Analog dazu wurde die Verarbeitung von Targets, die am Ende des langen Intervalls erschienen, wenn der Cue das lange Intervall angekündigt hatte (Versuchsbedingung: *lang-valide*) verglichen mit der Verarbeitung von Targets, die nach einem langen Intervall erschienen, wenn der Cue

das kurze Intervall angekündigt hatte (Versuchsbedingung: *lang-invalid*). Abbildung 2 gibt einen Überblick über die verschiedenen Bedingungen und Vergleiche.

2.2.3 Durchführung

Die Testungen fanden in einem elektrisch abgeschirmten Versuchsraum statt. Auf einem Computerbildschirm wurden den Versuchspersonen schriftliche Instruktionen präsentiert. Die Instruktionen informierten die Versuchspersonen über die Zuordnung von Cue-Ton zu Intervall sowie über die Reaktionen, welche die beiden verschiedenen Targets erforderten. Die Versuchspersonen wurden darüber aufgeklärt, dass die Auftretenswahrscheinlichkeit eines Targets zum angekündigten Zeitpunkt deutlich höher war als zum anderen Zeitpunkt. Sie wurden aufgefordert, so schnell und fehlerfrei wie möglich zu reagieren. Auf Catch Trials sollte nicht reagiert werden. Ein zentral auf dem Bildschirm dargebotenes Fixationskreuz sollte während jedes Blocks fixiert werden.

Vor dem eigentlichen Experiment folgten zunächst drei Übungsblöcke. Die ersten beiden Übungen sollten dazu dienen, die Versuchspersonen mit der Zugehörigkeit von Cue-Ton zu Zeitintervall sowie den geforderten Reaktionen vertraut zu machen. Der erste Übungsblock enthielt ausschließlich Trials mit valide angekündigten kurzen Zeitintervallen, der zweite Übungsblock bestand aus Trials mit valide angekündigten langen Zeitintervallen. Beide Blöcke enthielten je 18 Trials, davon 9 mit einem durchgängigen Target und 9 mit einem Lücken-Target. Der dritte Übungsblock (36 Trials) enthielt alle Bedingungen des Experimentes: kurz-valide (12 Trials), lang-valide (12 Trials), kurz-invalid (4 Trials), lang-invalid (4 Trials) und 4 Catch Trials. Während der Übungsblöcke erhielten die Versuchspersonen nach jedem Trial eine visuell präsentierte Rückmeldung darüber, ob die Reaktion korrekt war. Dazu wurde entweder das Wort „richtig“ oder „falsch“ zentral auf dem Bildschirm dargeboten. Im eigentlichen Experiment wurden Rückmeldungen nur noch am Ende eines Blocks präsentiert. Die Versuchspersonen wurden dabei über die Anzahl korrekter und inkorrekt Reaktionen sowie die Anzahl ausgelassener Reaktionen informiert.

Das Experiment bestand aus 20 Blöcken mit jeweils 72 Trials, die randomisiert präsentiert wurden: 48 valide (davon 24 kurz-valide und 24 lang-valide), 16 invalide (davon 8 kurz-invalid und 8 lang-invalid) und 8 Catch Trials. Die Hälfte der Targets war

durchgängig, die andere Hälfte enthielt eine Lücke. Nach jedem Block folgte eine kurze Pause, welche von den Probanden selbst per Tastendruck beendet werden konnte. Die Gesamtdauer des Experimentes inklusive Instruktionen, Übungen sowie Applikation und Entfernen der Elektroden betrug etwa 2 Stunden.

2.2.4 EEG-Aufnahme

Die Messung des EEGs erfolgte über neun Ag/AgCl-Elektroden, welche direkt auf die Kopfhaut der Probanden appliziert wurden, an den Positionen: F3, Fz, F4, C3, Cz, C4, P3, Pz und P4. Eine Ground-Elektrode wurde auf der Stirn der Versuchspersonen (über dem Nasion) appliziert. Zur Kontrolle von Augenartefakten wurden ein horizontales und ein vertikales Elektroofokulogramm (EOG) mit vier zusätzlichen, kleinen Ag/AgCl-Elektroden aufgezeichnet. Dazu wurde jeweils eine Elektrode horizontal neben der äußeren Kante jedes Auges angebracht sowie vertikal eine Elektrode oberhalb und eine Elektrode unterhalb des rechten Auges. Zwei zusätzliche Elektroden auf den beiden Ohrläppchen dienten als Referenz. Während der Aufzeichnung wurden die aktiven Elektroden zunächst auf das rechte Ohrläppchen referenziert. Nach der Messung erfolgte eine Rereferenzierung der Daten auf die verbundenen beiden Ohrläppchenelektroden (vergleiche Nunez, 1991). Die Impedanzen wurden unter dem Wert von 5 k Ω gehalten. Für die Aufnahme der elektrischen Aktivität wurde ein NuAmp-Verstärker (Neuroscan, Charlotte, USA) verwendet. Die Ableitung des EEGs erfolgte bei einer Digitalisierungsrate von 250 Hz und wurde online gefiltert (Bandpass: DC bis 100 Hz). Offline wurden die Daten noch einmal über einen Butterworth-Zero-Phase-Filter (0.1-30 Hz, 24 db/oct) gefiltert. Zudem wurde die Amplitude der 9 aktiven Elektroden der Kopfhaut um die Aktivität der Augenelektroden bereinigt. Dazu wurde der Algorithmus nach Gratton, Coles und Donchin (1983) verwendet.

2.2.5 Datenanalyse

Effekte zeitlicher Aufmerksamkeit sollten anhand von Verhaltensdaten und EKP-Daten ermittelt werden. Dazu wurden Varianzanalysen (ANOVAs) sowohl für Reaktionszei-

ten und Fehlerraten als auch für die relevanten Zeitbereich der Cue- und Target-EKP berechnet, wie im Folgenden beschrieben.

2.2.5.1 Verhaltensdaten

In die Auswertung wurden zur Kontrolle von Ausreißern ausschließlich Trials mit einbezogen, bei denen die Reaktionszeiten nicht mehr als zwei Standardabweichungen vom Mittelwert der Reaktionszeiten einer Versuchsperson in dieser Bedingung abwichen. Dies machte den Ausschluss von 4.7 % (im Mittel) der Trials notwendig. Zur Überprüfung des Einflusses selektiver zeitlicher Aufmerksamkeit auf die Reaktionen und Fehlerraten wurden ANOVAs mit den Faktoren *Intervall* (kurz, lang) und *Validität* (valide, invalide) gerechnet. Für jede Versuchsperson wurde ein Drittel der validen Trials randomisiert ausgewählt zur Ermittlung des Mittelwertes der Reaktionszeiten, um eine gleich große Anzahl valider und invalider Trials für die Analyse zu erreichen.

Da in Vorgängerstudien, die zeitliche Aufmerksamkeit mit einer Cueing-Aufgabe untersuchten, die Aufmerksamkeitseffekte typischerweise auf die Verarbeitung von Targets am Ende des kurzen Intervalls beschränkt waren, wurde spekuliert, dass Probanden in der lang-invalide-Bedingung ihre Aufmerksamkeit bei Ausbleiben eines Targets zum angekündigten Zeitpunkt (nach dem kurzen Intervall) neu orientieren, auf das Ende des langen Intervalls und somit keinerlei Unterschied bezüglich des Ausmaßes an fokussierter Aufmerksamkeit zwischen valide und invalide angekündigten Targets am Ende des langen Intervalls besteht (Coull & Nobre, 1998; Nobre, 2001). Diese Annahme unterschiedlicher Verarbeitung von Targets nach dem kurzen beziehungsweise langen Intervall zugrunde gelegt, wurden zudem separate ANOVAs für das kurze und das lange Intervall gerechnet.

2.2.5.2 Analyse der EKP-Daten

Zur elektrophysiologischen Untersuchung des Einflusses zeitlicher Aufmerksamkeit auf die Reizverarbeitung wurden EKP von Targets analysiert. Hierzu wurden gemittelte EKP (Averages) einer Bedingung gebildet, also abhängig davon, ob sie nach dem kurzen oder dem langen Intervall erschienen und davon, ob sie valide oder invalide angekündigt wurden. Es wurden Segmente gebildet, welche 200 ms vor Einsetzen des Tar-

gets begannen und 600 ms nach Erscheinen des Targets endeten. Eine Baselinekorrektur wurde durchgeführt. Dazu wurde eine Baseline von 50 ms nach dem Target (0-50 ms) zugrunde gelegt. Die Wahl einer Baseline innerhalb des Potentials (anstelle einer Prä-Stimulus-Baseline) sollte die Überlagerung der Amplitude durch CNV-Aktivität minimieren (vergleiche Correa & Nobre, 2008).

Zusätzlich wurden EKP von Cue-Reizen untersucht, um die Auswirkungen zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung vor dem beachteten Zeitpunkt zu untersuchen (vergleiche z.B. Lange et al., 2003). Hierzu wurden Averages von Cue-EKP in Abhängigkeit des Intervalls, welches sie ankündigten (kurz oder lang), und dem tatsächlichen Erscheinen des nachfolgenden Targets (nach dem kurzen oder dem langen Intervall) gebildet. Die Segmente begannen 200 ms vor dem Cue und endeten 1800 ms nach dem Erscheinen des Cues und damit 600 ms nach dem Ende des langen Intervalls. Die Segmente wurden ebenfalls einer Baselinekorrektur unterzogen (-200-0 ms).

Trials wurden nur dann in die Berechnung der gemittelten EKP (sowohl für Targets als auch für Cues) einbezogen, wenn eine richtige Reaktion innerhalb von 1000 ms nach dem Target abgegeben wurde. Darüber hinaus wurden Trials mit Artefakten nach den folgenden Kriterien aussortiert: Die maximal erlaubte Spannungsdifferenz zwischen zwei aufeinander folgenden Datenpunkten lag bei 50 μV , die maximal erlaubte absolute Differenz zweier Werte eines Segments lag bei 80 μV und die niedrigste erlaubte Aktivität für 100 ms war 0.05 μV . Die Daten einer Versuchsperson wurden nur dann in die Auswertung einbezogen, wenn mindestens zwei Drittel der Trials in jeder Bedingung nach Ausschluss enthalten blieben. Wie auch bei der Auswertung der Verhaltensdaten wurde lediglich ein (randomisiert gezogenes) Drittel der validen Trials zur Berechnung der mittleren EKP verwendet, um ein vergleichbares Signal-Rausch-Verhältnis der Bedingungen zu erreichen.

Die neun Elektrodenpositionen (F3, Fz, F4, C3, Cz, C4, P3, P, P4) wurden jeweils einem Wert des Faktors *Anterior-Zentral-Parietal (AZP)* und einem Wert des Faktors *Links-Medial-Rechts (LMR)* zugeordnet (siehe Abbildung 3).

LMR \ AZP	links	medial	rechts
anterior	F3	Fz	F4
zentral	C3	Cz	C4
parietal	P3	Pz	P4

Abbildung 3: Zuordnung der neun Elektrodenpositionen zu den jeweils drei Stufen der beiden Faktoren *LMR* und *AZP*.

Bezogen auf die Cue-EKP wurde die mittlere Amplitude für sieben aufeinanderfolgende, 40 ms lange Zeitintervalle berechnet, welche für das kurze Intervall bei 320 ms nach dem Cue begannen und für das lange Intervall bei 920 ms nach dem Cue (Faktor *Zeitfenster*). Es wurde eine ANOVA mit den Faktoren *Intervall* (kurz, lang), *Zeitfenster* (sieben Stufen), *Validität* (valide, invalide), *LMR* (links, medial, rechts) und *AZP* (anterior, zentral, parietal) gerechnet.

Für die Analyse der Target-EKP wurde anhand des Amplitudenverlaufs der Grand Averages die mittlere Amplitude im Zeitbereich von 100 ms bis 140 ms nach dem Target als Analysezeitraum der N1-Komponente festgelegt sowie die mittlere Amplitude im Intervall von 350 ms bis 450 ms nach dem Target als Analysezeitraum für die P300-Komponente. Es wurden separate Analysen der Target-EKP für die N1- und die P300-Komponente berechnet. Da die N1-Komponente typischerweise eine fronto-zentrale Topographie aufweist, wurden in die ANOVA für die N1-Komponente nur zwei Stufen des Faktors *AZP* (anterior, zentral) in die Analyse miteinbezogen. Es wurde also eine ANOVA mit den Faktoren *Intervall* (kurz, lang), *Validität* (valide, invalide), *LMR* (links, medial, rechts) und *AZP* (anterior, zentral) gerechnet. Die ANOVA für die P300-Komponente enthielt die Faktoren *Intervall* (kurz, lang), *Validität* (valide, invalide), *LMR* (links, medial, rechts) und *AZP* (anterior, zentral, parietal). Zur Überprüfung der Interaktionen höherer Ordnung wurden entsprechende ANOVAs berechnet (O'Brien & Kaiser, 1985).

2.3 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Analyse der Verhaltens- und EKP-Daten berichtet. Die Berechnungen der Datenanalysen wurden mit SAS 9.1 (SAS Institute, Cary, USA) vorgenommen. In allen Analysen wurde die Huynh-Feld-Korrektur verwendet, wenn die Sphäritätsannahme verletzt war (Huynh & Feldt, 1976). Es werden ausschließlich Effekte berichtet, die mindestens einen der beiden experimentellen Faktoren *Intervall* und *Validität* beinhalten.

2.3.1 Verhaltensdaten

Die Gesamtanalyse ergab einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor *Intervall*. Versuchspersonen reagierten schneller auf Targets, die nach dem kurzen Intervall erschienen als auf solche, die am Ende eines langen Intervalls erschienen: $F(1, 23) = 12.25, p < .01, \eta^2 = .35$. Auch wenn in der Gesamtanalyse kein signifikanter Haupteffekt für den Faktor *Validität* gefunden wurde, zeigte sich eine Tendenz zu kürzeren Reaktionszeiten für valide angekündigte, gegenüber invalide angekündigten Targets: $F(1, 23) = 3.30, p = .08, \eta^2 = .13$. Die Interaktion zwischen den Faktoren *Validität* und *Intervall* war nicht signifikant. Aufgrund der Tatsache, dass vorherige Studien einen signifikanten Aufmerksamkeitseffekt typischerweise nur für das kurze Intervall berichteten (z.B. Coull & Nobre, 1998; Miniussi et al., 1999), wurden dennoch zusätzlich separate Analysen für das kurze und das lange Intervall berechnet.

Hierbei wurde für das kurze Intervall ein signifikanter Haupteffekt des Faktors *Validität* beobachtet. Versuchspersonen reagierten signifikant schneller auf valide Targets ($M = 467$ ms, $SE = 11$) als auf invalide Targets ($M = 476$ ms, $SE = 11$): $F(1, 23) = 8.00, p < .01, \eta^2 = .26$. Für das lange Intervall ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Reaktionszeiten auf valide Targets ($M = 478$, $SE = 11$) und den Reaktionszeiten auf invalide Targets ($M = 483$, $SE = 12$): $F(1, 23) = 0.72, p = .41, \eta^2 = .03$ (siehe Abbildung 4).

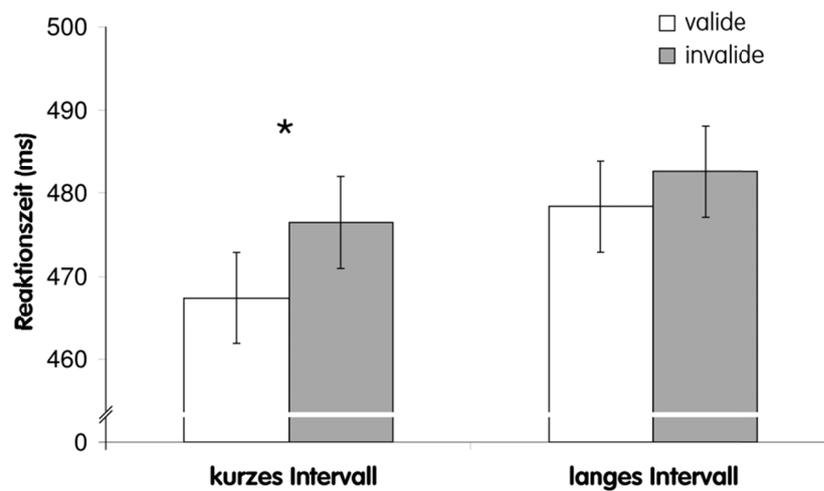


Abbildung 4: Mittlere Reaktionszeiten für Targets nach dem kurzen (links) und dem langen (rechts) Intervall. Die Fehlerbalken stellen den Standardfehler dar.

Die Fehlerraten waren insgesamt sehr gering. Es wurden keine signifikanten Haupteffekte für die Faktoren *Intervall* und *Validität* beobachtet, wenngleich der Haupteffekt des Faktors *Validität* einen Trend aufwies: $F(1, 23) = 3.02, p = .09, \eta^2 = .12$.

In den separaten Analysen für das kurze und das lange Intervall zeigte sich ebenfalls keine Verbesserung der Genauigkeit durch Aufmerksamkeit. Für das kurze Intervall wurde kein signifikanter Unterschied in der Genauigkeit der Reaktionen auf valide ($M = 96.63\%$ korrekt, $SE = 0.49$) beziehungsweise invalide ($M = 96.72\%$ korrekt, $SE = 0.52$) Targets beobachtet: $F(1, 23) = 0.07, p = .80, \eta^2 = .00$. Für das lange Intervall zeigten sich sogar mehr korrekte Reaktionen für invalide ($M = 97.42\%$ korrekt, $SE = 0.55$) gegenüber validen ($M = 96.75\%$ korrekt, $SE = 0.63$) Targets: $F(1, 23) = 4.6, p = .04, \eta^2 = .15$.

2.3.2 EKP-Daten

Die EKP der Cues zeichneten sich durch einen N1-P2-Komplex aus, auf welchen eine langsame Negativierung folgte, die gegen Ende des kurzen Intervalls zu- und gegen Ende des langen Intervalls abnahm (siehe Abbildung 5).

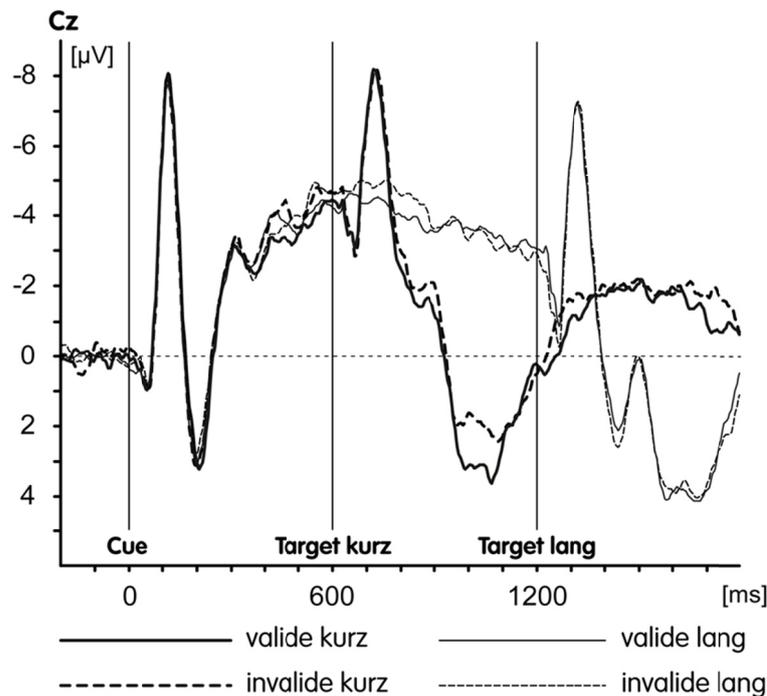


Abbildung 5: Verlauf der langsamen Negativierung. Grand-Average-EKP der Cues, welche das Erscheinen des Targets valide (durchgezogene Linie) und invalide (gestrichelte Linie) nach dem kurzen Intervall (dickere Linie) und dem langen Intervall (dünnere Linie) ankündigten; an der Cz-Elektrode. Es wurde eine 200 ms Prä-Stimulus-Baseline zugrunde gelegt. Die vertikalen Linien markieren den Zeitpunkt des Erscheinens von Cue und Targets. In dieser und allen folgenden EKP-Abbildungen ist Negativität nach oben abgetragen.

2.3.2.1 Cue-EKP

Im Zeitbereich zwischen Cue und Target war eine zunehmende Negativierung zu beobachten, deren Maximum über dem fronto-zentralen Cortex-Bereich lag. Da sich der Verlauf dieser Negativierung zwischen den Bedingungen *kurzes Intervall* und *langes Intervall* unterschied (Interaktion *Zeitfenster* * *Intervall*: $F(6, 138) = 11.05, p < .01, \epsilon = 0.36, \eta^2 = .32$; *Zeitfenster* * *Intervall* * *AZP*: $F(12, 276) = 4.66, p < .01, \epsilon = 0.33, \eta^2 = .17$; *Zeitfenster* * *Intervall* * *AZP* * *LMR*: $F(24, 552) = 3.22, p < .01, \epsilon = 0.35, \eta^2 = .12$), wurden separate ANOVAs berechnet.

Für das kurze Intervall nahm die Negativierung über die Zeit hinweg zu (Haupteffekt des Faktors *Zeitfenster* $F(6, 138) = 11.41, p < .01, \epsilon = 0.34, \eta^2 = .33$). Dies war vor allem über linken und rechten zentralen und parietalen Regionen der Fall (Interaktion *Zeitfenster* * *AZP* * *LMR*: $F(24, 552) = 3.08, p < .01, \epsilon = 0.40, \eta^2 = .12$). Für das lange Intervall zeigte sich eine leichte Abnahme der Negativierung, vor allem über rechten

und zentralen Arealen (Interaktion *Zeitfenster* * *LMR*: $F(12, 276) = 3.94, p < .01, \varepsilon = 0.55, \eta^2 = .15$; *Zeitfenster* * *AZP*: $F(12, 276) = 1.73, p = .12, \varepsilon = 0.48, \eta^2 = .07$).

Es zeigten sich keine Effekte zeitlicher Aufmerksamkeit bezogen auf die langsame Negativierung im Zeitbereich zwischen Cue und Target (Berechnungen mit dem Faktor *Validität*: alle $p > .12$).

2.3.2.2 Target-EKP

Die Target-EKP wiesen eine N1-Komponente mit einem Maximum (Peak) bei 112 ms auf sowie eine P300-Komponente mit einem Peak im Zeitbereich um 400 ms. Die Amplitude der P300-Komponente war im Intervall zwischen 350 ms und 400 ms für valide angekündigte (beachtete) Targets erhöht, gegenüber invalide angekündigten (unbeachteten) Targets (siehe Abbildung 6).

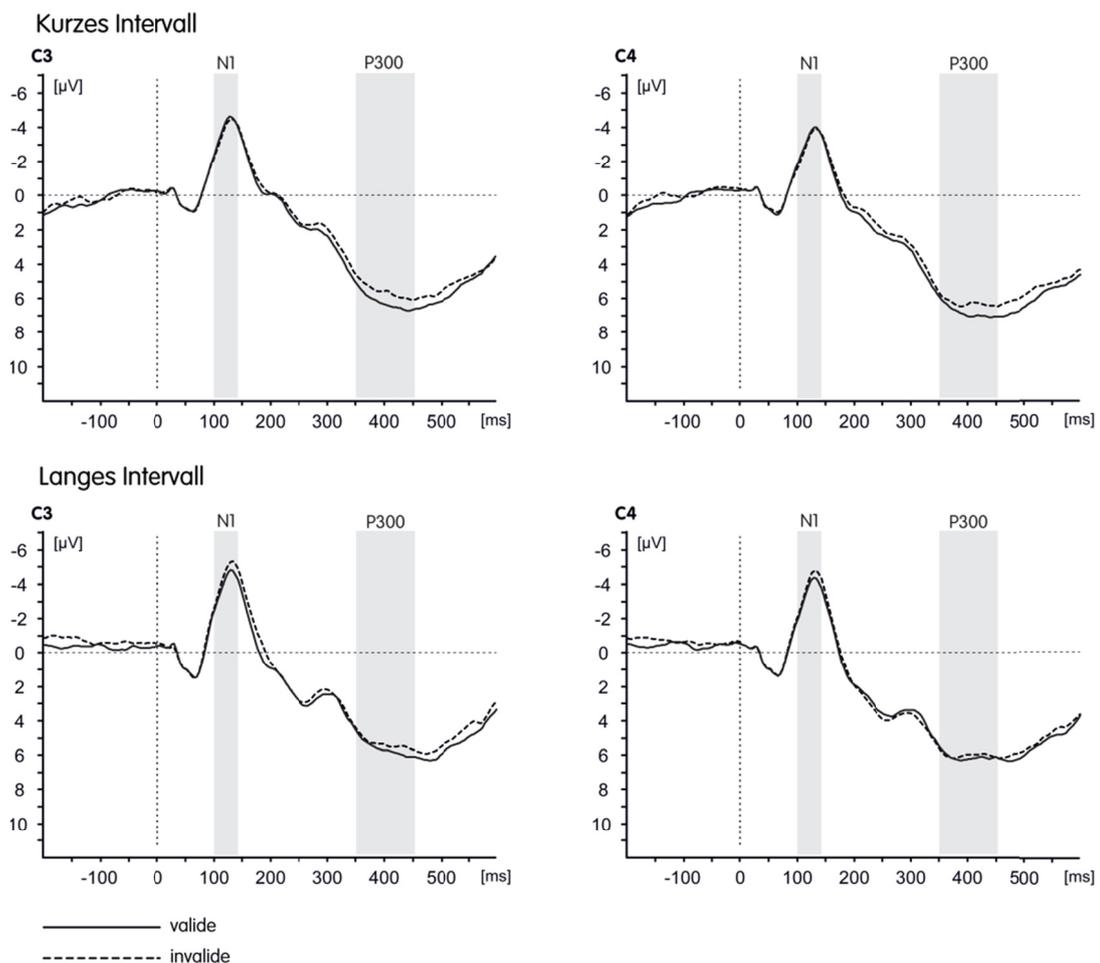


Abbildung 6: Grand-Average-EKP validier (durchgezogene Linien) und invalider (gestrichelte Linien) Targets, welche nach dem kurzen Intervall (obere Hälfte) und dem langen Intervall (untere Hälfte) erschienen, jeweils für die Elektroden C3 und C4. Es wurde eine 50 ms Post-Stimulus-Baseline zugrunde gelegt. Die vertikale Linie bei 0 ms markiert den Onset des Targets. Die Analysezeiträume für die N1- und P300-Komponente sind grau hinterlegt.

N1-Komponente

Im Zeitbereich der N1 zeigten sich unterschiedliche Effekte des Faktors *Validität* für das kurze und das lange Intervall (Interaktionen *Intervall * Validität*: $F(1, 23) = 5.92$, $p = .02$, $\eta^2 = .20$; *Intervall * Validität * AZP * LMR*: $F(2, 46) = 4.07$, $p = .03$, $\varepsilon = 0.79$, $\eta^2 = .15$).

Separate Analysen zeigten, dass dieser Unterschied dadurch bedingt wurde, dass sich die mittlere Amplitude der N1 für das kurze Intervall nicht signifikant zwischen validen und invaliden Targets unterschied (alle $p > .14$). Im langen Intervall hingegen zeigte die N1 eine signifikant kleinere mittlere Amplitude für valide Targets im Vergleich mit

invaliden Targets über zentralen Regionen (Interaktion *Validität* * *AZP*: $F(1, 23) = 4.4$, $p < .05$, $\eta^2 = .16$).

P300-Komponente

In der Gesamtanalyse zeigten sich signifikant größere (positivere) Amplitudenwerte im Zeitbereich der P300 für valide im Vergleich zu invaliden Targets (Interaktion *Validität* * *AZP*: $F(2, 46) = 8.07$, $p < .01$, $\varepsilon = 0.73$, $\eta^2 = .26$). Der Haupteffekt des Faktor *Validität* war an den einzelnen Elektroden-Clustern nicht signifikant, es zeigten sich jedoch größere Amplituden für valide Reize an parietalen und zentralen Positionen. Interaktionen mit den Faktoren *Validität* und *Intervall* wurden nicht beobachtet (alle $p > .26$).

Separate Analysen für die beiden Intervalle zeigten, dass der Effekt des Faktors *Validität* sowohl für das kurze Intervall (Interaktion *Validität* * *AZP*: $F(2, 46) = 3.83$, $p = .04$, $\varepsilon = 0.75$, $\eta^2 = .14$) als auch für das lange Intervall (Interaktion *Validität* * *AZP*: $F(2, 46) = 6.74$, $p < .01$, $\varepsilon = 0.65$, $\eta^2 = .23$) signifikant war.

2.4 Diskussion

Ziel des ersten Experimentes war es zum einen, den Einfluss auditiver zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung auf Verhaltensdaten zu untersuchen. Die Tatsache, dass Versuchspersonen in der hier verwendeten Aufgabe schneller reagierten, wenn Targets valide angekündigt wurden als wenn sie invalide angekündigt wurden, spricht dafür, dass es zu einer verbesserten Reizverarbeitung durch zeitliche Aufmerksamkeit gekommen ist. Offenbar konnten die Versuchspersonen die Information des Cues nutzen, um ihre Aufmerksamkeit auf den angekündigten Zeitpunkt zu orientieren und somit schneller reagieren zu können, analog dazu, wie es für räumliche Aufmerksamkeitsorientierung (Posner 1980, Posner et al., 1980) und visuelle zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung (z.B. Coull & Nobre, 1998; Griffin et al., 2002; Miniussi et al., 1999) berichtet wurde. Die Befunde von Experiment 1 stellen somit den ersten Nachweis zeitlicher Aufmerksamkeitseffekte in den Reaktionszeiten der Verarbeitung akustischer Reize dar. Wie auch in den Studien mit der visuellen zeitlichen Cueing-Aufgabe (z.B. Coull & Nobre, 1998; Griffin et al., 2002, Experiment 1, Miniussi et al., 1999;) war der Aufmerksam-

keitseffekt in den Reaktionszeiten auf das kurze Intervall beschränkt, so dass es scheinbar zu einer Neuorientierung der Aufmerksamkeit in der lang-invalide-Bedingung gekommen ist (vergleiche Coull & Nobre, 1998). Die Genauigkeit der Reaktionen wurde hingegen nicht durch zeitliche Aufmerksamkeit verbessert. Eine verbesserte Genauigkeit von Reaktionen durch zeitliche Aufmerksamkeit wurde in einigen Studien zum visuellen zeitlichen Cueing beobachtet (z.B. Correa et al., 2005; Griffin et al., 2002, Experiment 1³), während andere Studien keine Aufmerksamkeitseffekte bezüglich der Genauigkeit der Reaktionen berichteten (z.B. Correa et al., 2006; Griffin et al., 2002, Experiment 2). Da keinerlei Einfluss zeitlicher Aufmerksamkeit auf die Genauigkeit der Reaktionen im kurzen Intervall beobachtet wurde, kann ausgeschlossen werden, dass die schnelleren Reaktionszeiten für valide Targets durch einen Geschwindigkeits-Genauigkeits-Ausgleich zustande kamen. Für das lange Intervall hingegen zeigte sich ein Verarbeitungsvorteil für invalide Targets (Bedingung: lang-invalide) im Sinne geringerer Fehlerraten, verglichen mit validen Targets. Bei dieser Beobachtung handelt es sich um einen unerwarteten Befund. Ein ähnlicher Befund war bislang nicht berichtet worden. Die Tatsache, dass die Reaktionszeiten im langen Intervall für valide Targets im Mittel nicht signifikant schneller waren als für invalide Targets und die Fehlerraten im allgemeinen sehr gering ausfielen, spricht dagegen, dass dieser Effekt das Abbild eines Geschwindigkeits-Genauigkeits-Ausgleichs darstellt. Eine befriedigende Erklärung dieses Effekts kann daher an dieser Stelle nicht gegeben werden.

Ziel des ersten Experimentes war es darüber hinaus, den Einfluss auditiver zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung auf ereigniskorrelierte Potentiale in einem Paradigma zu untersuchen, in dem die Aufmerksamkeit Trial für Trial neu orientiert werden musste (anstatt sie über einen Block hinweg konstant auf einen Zeitpunkt auszurichten) und in dem sowohl valide als auch invalide Targets eine Reaktion erforderten. Vorausgegangene Studien hatten mit einer vergleichbaren Aufgabe unter Verwendung visueller Reize uneindeutige Antworten bezüglich der Frage geliefert, ob selektive zeitliche Aufmerksamkeit neben der Modulation später EKP-Komponenten, welche einen Einfluss auf Entscheidungs- oder Reaktionsprozesse widerspiegeln soll, zudem frühe Komponenten beeinflusst und somit auch auf frühere Verarbeitungsprozesse, wie die Reiz-

³ Tendenz, nicht signifikant

wahrnehmung, moduliert. Die Tatsache, dass ein signifikanter Aufmerksamkeitseffekt für die P300- nicht aber für die N1-Amplitude gefunden wurde, unterstützt den Tenor der Studien, die zeitliches Aufmerksamkeits-Cueing in der visuellen Modalität untersuchten, dass zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung primär späte Prozess-Stufen der Reizverarbeitung beeinflusst (Correa et al., 2006; Griffin et al., 2002, Experiment 2; Miniussi et al., 1999). Das Ausbleiben eines N1-Aufmerksamkeitseffektes widerspricht somit den Befunden anderer Studien zur auditiven zeitlichen Aufmerksamkeit, die konsistent eine N1-Modulation berichteten (Lange et al., 2006; Lange & Röder, 2006; Lange et al., 2003; Röder et al., 2007; Sanders & Astheimer, 2008). Die Annahme, dass zeitliche Aufmerksamkeit die auditive Wahrnehmung leichter beeinflussen könne als die visuelle Wahrnehmung, welche als eine von mehreren möglichen Erklärungen der widersprüchlichen Befunde aus den visuellen und akustischen Studien diskutiert wurde, erscheint angesichts der aktuellen Befunde weniger wahrscheinlich. Zwar wurde der Faktor *Stimulus-Modalität* in dem hier berichteten Experiment nicht experimentell manipuliert, so dass eine direkte Schlussfolgerung über den Einfluss dieses Faktors auf die Auswirkung zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung auf die Reizverarbeitung nicht zulässig ist. Wenn jedoch die Modalität, in der die Reize präsentiert werden, das einzige notwendig und hinreichende Kriterium wäre, welches bedingt, ob frühe Prozesse durch zeitliche Aufmerksamkeit beeinflusst werden, in der Form, dass in der auditiven Modalität frühe und späte Prozesse moduliert werden und in der visuellen Modalität lediglich spätere Prozesse, hätte sich in der in Experiment 1 verwendeten akustischen Cueing-Aufgabe ein früher Aufmerksamkeitseffekt im Sinne der beschriebenen N1-Modulation (z.B. Lange et al., 2003) zeigen sollen. Der Zusammenhang erscheint somit komplexer. In einem nachfolgenden Experiment sollte daher der Einfluss auditiver zeitlicher Aufmerksamkeit weiter untersucht werden.

Durch Cue-Reize ausgelöste EKP zeigten eine langsame Negativierung, welche für das kurze und das lange Intervall an fronto-zentralen Positionen im Zeitbereich zwischen Cue und Target zu beobachten war. Vermutlich handelt es sich bei dieser Negativierung um eine so genannte *Contingent negative variation (CNV)*, also eine Negativierung, welche auf einen Warnreiz (hier: der Cue) hin zunimmt bis ein imperativer Reiz, welcher eine Reaktion erfordert (hier: das Target), präsentiert wird, woraufhin die Amplitude schlagartig abfällt. Die Amplitude der CNV scheint von der Kontingenz zwischen

dem Warnreiz und dem imperativen Reiz abzuhängen sowie von der Erwartung der Probanden (Walter, Winter, Cooper, McCallum, & Aldridge, 1964). Es konnte gezeigt werden, dass sich die Amplitude der CNV verändert, wenn das Maß an benötigter Aufmerksamkeit zur Ausführung einer Aufgabe variiert (Tecce, 1972; Walter et al., 1964). Zudem werden andere Faktoren diskutiert, welche einen Beitrag zur CNV leisten sollen. Dazu zählen die Zeitspanne des Intervalls (z.B. Elbert, Ulrich, Rockstroh, & Lutzenberger, 1991; Macar & Besson, 1985; McAdam, 1967; Pouthas, Garnero, Ferrandez, & Renault, 2000; Ruchkin, McCalley, & Glaser, 1977) sowie die Vorbereitung einer (motorischen) Reaktion (z.B. Birbaumer, Elbert, Canavan, & Rockstroh, 1990). Auch in den vorausgegangenen Studien zur zeitlichen Aufmerksamkeitsorientierung wurden ähnliche Potentialverschiebungen auf den Cue hin beschrieben (Correa et al., 2006; Griffin et al., 2002; Lange et al., 2003; Miniussi et al., 1999; Sanders & Astheimer, 2008). Diese zeichnete sich dort allerdings durch eine größere Negativierung vor dem beachteten Zeitpunkt aus, sodass man auf eine Modulation des Verlaufs der Komponenten durch Aufmerksamkeit schließen konnte (z.B. Correa et al., 2006; Lange et al., 2003). Die Befunde des ersten Experimentes zeigten jedoch keine Beeinflussung der langsamen Negativierung durch zeitliche Aufmerksamkeit: Es ergab sich kein signifikanter Unterschied in den Amplituden zum Zeitpunkt kurz vor dem Ende des Intervalls zwischen den EKP von Cues aus der validen und der invaliden Bedingung. Möglicherweise ist dieser abweichende Befund dadurch zu erklären, dass ein anderes Verhältnis valider Trials (67 %) zu invaliden Trials (22 %) in Experiment 1 verwendet wurde, der Anteil valider Trials somit geringer war als in anderen Studien (etwa Miniussi et al., 1999: 80 % valide, 10 % invalide). Der Unterschied zwischen der validen und der invaliden Bedingung war damit möglicherweise weniger deutlich ausgeprägt als in anderen Studien. Das Auftreten eines signifikanten Verarbeitungsvorteils (in den Reaktionszeiten) für valide gegenüber invalide angekündigten Targets des kurzen Intervalls lässt jedoch darauf schließen, dass der Anteil valider Trials ausreichte, um eine Orientierung der Aufmerksamkeit auf den angekündigten Zeitpunkt zu bewirken. Darüber hinaus wurde auch in Studien mit einem ähnlichen Verhältnis valider zu invaliden Trials (z.B. Correa et al., 2006: 66 % valide, 22 % invalide) ein Aufmerksamkeitseffekt in der langsamen Negativierung berichtet. Somit lässt sich an dieser Stelle nicht abschließend beantworten, was

das Ausbleiben eines Aufmerksamkeitseffektes in der langsamen Negativierung in Experiment 1 verursachte.

Ein unerwarteter Befund war zudem die größere N1-Amplitude für invalide Targets, die nach dem langen Intervall erschienen. Auch dieser Effekt war nicht erwartet worden und kann an dieser Stelle nicht ausreichend interpretiert werden. Eine mögliche Replikation dieses Befundes in Experiment 2 würde eine Erklärung nahelegen, die das hier verwendete Paradigma betrifft.

Die P300-Komponente zeichnete sich durch eine größere Amplitude für valide gegenüber invaliden Reizen aus. Dieser Effekt stellt – für das kurze Intervall – eine Replikation der Befunde früherer Studien da, die eine Modulation der P300-Komponente als elektrophysiologisches Abbild einer Verbesserung später Reizverarbeitungsprozesse, wie Entscheidungs- oder Reaktionsvorbereitungsprozesse, durch zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung interpretierten (eine Übersicht bietet Correa et al., 2006). Der Aufmerksamkeitseffekt in der P300-Komponente zeigte sich in Experiment 1 darüber hinaus auch für das lange Intervall. Dieser Befund steht somit im Widerspruch zu den Ergebnissen aus vorausgegangenen Studien, welche keine Effekte zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung für die Verarbeitung von Targets am Ende des langen Intervalls fanden (Coull & Nobre, 1998; Griffin et al., 2002; Miniussi et al., 1999).

3 Experiment 2

In einem zweiten Experiment sollte nun der Einfluss zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung auf die Verarbeitung akustischer Reize in einem zeitlichen Cueing-Paradigma mit einer Go/No-Go-Aufgabe untersucht werden.

3.1 Einleitung

Die Ergebnisse von Experiment 1 spiegeln das Befundmuster wider, welches von Studien mit der visuellen zeitlichen Cueing-Aufgabe berichtet wurde. Versuchspersonen reagieren schneller auf valide angekündigte Targets als auf invalide angekündigte Targets und die Analyse der EKP-Daten ergibt eine Modulation der P300-Komponente, während frühere Komponenten (hier die N1) nicht dem Einfluss zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung unterliegen. Die Befunde unterstützen somit die Annahme, dass die verbesserte Reizverarbeitung durch zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung primär auf der Modulation reaktionsbezogener Prozesse, wie Reaktionsauswahl oder motorische Vorbereitung einer Reaktion, basieren (Nobre, 2001).

Unbeantwortet bleibt die Frage, was dazu führte, dass die vorausgegangenen Studien zur zeitlichen Aufmerksamkeitsorientierung in der auditiven Modalität bisher konsistent eine Modulation der N1-Komponente berichteten (z.B. Lange et al., 2006; Lange & Röder, 2006; Lange et al., 2003; Röder et al., 2007; Sanders & Astheimer, 2008, eine Übersicht bietet Lange & Röder, 2010) beziehungsweise welche Faktoren das Auftreten früher Aufmerksamkeitseffekte bedingen. Die Tatsache, dass in Experiment 1 keine Modulation der N1 durch zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung beobachtet wurde, spricht gegen die Annahme, die widersprüchlichen Befundmuster der Vorgängerstudien ließen sich alleine durch die jeweils verwendete Stimulus-Modalität erklären. Auf der Suche nach den Faktoren, die eine Modulation früher Prozesse durch zeitliche Aufmerksamkeit bedingen, sind weiterhin zwei zu nennen, die in den Studien, die frühe Aufmerksamkeitseffekte berichteten und den Studien, die lediglich eine Modulation später Prozesse berichteten, unterschiedlich ausgeprägt waren: *Die Art der Orientierung*

des Aufmerksamkeitsfokus und die *Aufgabenrelevanz invalider Reize*. Wie in der Einleitung beschrieben zeichnen sich Studien, die frühe Aufmerksamkeitseffekte berichteten, durch eine konstante Orientierung des Aufmerksamkeitsfokus auf ein Intervall für die Dauer eines gesamten Blocks aus (z.B. Lange et al., 2006; Lange et al., 2003; Sanders & Astheimer), während in Studien, die lediglich späte Aufmerksamkeitseffekte berichteten, die Aufmerksamkeit für jedes Trials neu orientiert werden musste, jeweils zu dem Zeitpunkt hin, welcher durch den Cue angekündigt wurde (z.B. Griffin et al., 2002, Experiment 2; Miniussi et al., 1999). Mit einer konstanten Orientierung der Aufmerksamkeit auf den Zeitpunkt am Ende eines Intervalls konnten sogar unter Verwendung der Cueing-Aufgabe frühe Aufmerksamkeitseffekte gefunden werden. So berichteten Correa et al. (2006) von einer Modulation der visuellen P1-Komponente durch zeitliche Aufmerksamkeit in einem Cueing-Design, in welchem eines der drei verwendeten Intervalle für jeweils einen gesamten Block beachtet werden sollte. Eine Annahme ist daher, dass es mit einem konstanten Aufmerksamkeitsfokus leichter ist, eine präzise Repräsentation des zu beachtenden Zeitintervalls auszubilden als in einer Bedingung, in der das zu beachtende Zeitintervall sich für jedes Trial ändert (Correa et al., 2006; Lange & Röder, 2006). Möglicherweise ist dadurch die Unterscheidbarkeit zwischen dem beachteten und dem unbeachteten Intervall erleichtert, so dass eine frühere Selektion eher möglich ist.

Die Studien, welche widersprüchliche Antworten auf die Frage liefern, ob zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung frühe Prozesse der Reizverarbeitung beeinflusst, unterscheiden sich zudem um einen weiteren Faktor, welcher somit als potentiell ausschlaggebend für das Auftreten früher Effekte zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung zu betrachten ist: die *Aufgabenrelevanz invalider Reize*. Möglicherweise bedingt die Tatsache, dass in der klassischen Cueing-Aufgabe auch auf invalide Targets reagiert werden muss, eine weniger selektive Zuwendung von Aufmerksamkeit zu einem bestimmten Zeitpunkt. Man könnte also davon sprechen dass die Gummilinde (vergleiche Eriksen & Murphy, 1987; Eriksen & StJames, 1986) der Aufmerksamkeit in diesem Falle weiter und somit weniger präzise fokussiert ist oder die Dämpfung (vergleiche Treisman, 1960) der unbeachteten Reiz weniger stark ist. Eine andere Konzeption von Aufmerksamkeit würde in diesem Falle von *geteilter Aufmerksamkeit* (anstatt von selektiver Aufmerksamkeit) sprechen, also einer Aufteilung der kognitiven Ressourcen auf zwei

unterschiedliche Ereignisse (hier: Beachtung zweier Zeitintervalle und damit ein Aufteilen der Aufmerksamkeit auf die beiden möglichen Zeitpunkte).

Es stellt sich also die Frage, was genau passiert, wenn mehrere Ereignisse mit gleicher Relevanz parallel beachtet werden müssen, beziehungsweise inwiefern eine parallele Beachtung mehrerer relevanter Reize möglich ist. Wird Aufmerksamkeit tatsächlich auf zwei unterschiedliche Ereignisse aufgeteilt und ist eine parallele Verarbeitung mehrerer Reize somit prinzipiell möglich oder gibt es einen ständigen Wechsel des Aufmerksamkeitsfokus? Das *Psychologische Refraktärperioden Paradigma* (Welford, 1952) untersuchte die Situation der Stimulation mit zwei schnell aufeinanderfolgenden Reizen, die jeweils eine Reaktion erforderten. Variiert wurde das Intervall (SOA) zwischen der Präsentation der beiden Reize. Es zeigte sich dabei, dass die Reaktionszeit der Reaktion auf den zweiten Reiz eine Funktion dieses Intervalls darstellte. Bei kurzem SOA war die Reaktionszeit auf den zweiten Reiz umso länger, je kürzer die Zeitverzögerung zwischen den beiden Reizen war. Es wurde ein Flaschenhals (*bottleneck*) angenommen (siehe auch Pashler, 1984), welcher keine parallele Verarbeitung zulässt. Während andere Prozesse, wie Wahrnehmung und Reaktionsausführung, parallel stattfinden können, soll auf der Stufe der Entscheidung beziehungsweise Reaktionsauswahl nur eine serielle Verarbeitung möglich sein (Flaschenhals).

Anhand der Befunde zur Psychologischen Refraktärperiode lässt sich also ableiten, dass einige Prozesse der Reizverarbeitung (wie z.B. die Reizwahrnehmung) parallel ablaufen können. Bezogen auf das zeitliche Cueing-Paradigma ließe sich also spekulieren, dass ein paralleles Beachten beider möglichen Zeitpunkte (dem angekündigten und dem nicht angekündigten) möglich ist. Möglicherweise ist also das Ausbleiben früher Aufmerksamkeitseffekte in Experiment 1 und anderen Studien zum zeitlichen Cueing mit visuellen Reizen (z.B. Griffin et al., 2002, Experiment 2; Miniussi et al., 1999) tatsächlich darauf zurück zu führen, dass aufgrund der vorhandenen Aufgabenrelevanz invalider Reize, die somit ebenfalls verarbeitet werden müssen, keine selektive Fokussierung der Aufmerksamkeit auf den angekündigten Zeitpunkt bewirkt wurde, sondern vielmehr ein Aufteilen der Aufmerksamkeit auf die beiden Zeitpunkte. Entsprechend gibt es Hinweise in der Forschung zur räumlichen Aufmerksamkeitsorientierung, dass eine Beeinflussung früher, sensorischer Prozesse durch Aufmerksamkeit nur dann auftritt, wenn es eine starke Fokussierung der Aufmerksamkeit auf einen Ort gibt, nicht aber,

wenn die Aufmerksamkeit zwischen der angekündigten und der nicht angekündigten räumlichen Position aufgeteilt werden muss (Eimer, 1994, 1996; Schröger & Eimer, 1997).

Ziel des zweiten Experimentes der vorliegenden Studie sollte daher sein, mehr über den Einfluss dieser Faktoren auf das Auftreten früher Aufmerksamkeitseffekte in der Verarbeitung akustischer Reize zu erfahren. Konkret sollte in Experiment 2 überprüft werden, ob eine Modulation der auditiven N1-Komponente durch zeitliche Aufmerksamkeit dann auftritt, wenn die Aufmerksamkeit weiterhin für jedes Trial neu durch den Cue auf einen Zeitpunkt orientiert werden muss – wie auch in Experiment 1 und den Studien zum visuellen Cueing, die keine Modulation früher Komponenten durch zeitliche Aufmerksamkeit berichteten (z.B. Griffin et al., 2002, Experiment 2; Miniussi et al., 1999) –, invalide Targets aber keine Reaktion erfordern, also vollständig ignoriert werden können – wie in den vorausgegangenen Studien zur auditiven zeitlichen Aufmerksamkeit, die frühe Effekte berichteten (z.B. Lange et al., 2003; Sanders & Astheimer, 2008). Der Versuchsaufbau von Experiment 1 wurde zu diesem Zwecke leicht abgewandelt. Versuchspersonen sollten nun lediglich auf jene Targets reagieren, die zum angekündigten Zeitpunkt erschienen. Reize, die zum unangekündigten Zeitpunkt erschienen, konnten ignoriert werden. Somit sollte eine selektivere Fokussierung der Aufmerksamkeit auf den angekündigten Zeitpunkt erreicht werden. Um dennoch die EKP physikalisch identischer Reize miteinander vergleichen zu können (also nicht valide Reize, auf die reagiert wurde, mit invaliden Reizen, auf die nicht reagiert wurde), wurde anstelle einer Wahlreaktionsaufgabe eine Go/No-Go-Aufgabe verwendet. Versuchspersonen sollten somit nicht auf alle valide angekündigten Reize reagieren, sondern lediglich auf eine Untergruppe dieser Reize. Zur Untersuchung von Aufmerksamkeitseffekten wurden daher EKP valider und invalider Reize verglichen, auf die nicht reagiert werden musste (Non-Targets). Um dennoch den Einfluss zeitlicher Aufmerksamkeit auf Verhaltensdaten in der Go/No-Go-Cueing-Aufgabe zu untersuchen, wurde ein zusätzliches Verhaltensexperiment durchgeführt, in welchem sowohl valide als auch invalide Reize eine Go/No-Go-Entscheidung erforderten.

Bezüglich der Befunde des Verhaltensexperimentes wurde eine Replikation der Ergebnisse von Experiment 1 erwartet. Versuchspersonen sollten für das kurze Intervall auf valide angekündigte Targets schneller reagieren als auf invalide angekündigte Targets.

Werden frühe, sensorische Prozesse der akustischen Reizverarbeitung durch zeitliche Aufmerksamkeit dann beeinflusst, wenn die Aufmerksamkeit selektiv auf einen der beiden Zeitpunkte orientiert werden kann in einem Paradigma, in dem die Orientierung für jedes Trial neu erfolgt, dann sollten die Befunde des EEG-Experimentes eine erhöhte N1-Amplitude in den EKP valide angekündigter Non-Targets gegenüber invalide angekündigter Non-Targets aufzeigen. Eine Beeinflussung späterer Prozesse im Sinne einer Modulation der EKP im Zeitbereich der P300 (analog zu Experiment 1) wurde zudem erwartet.

3.2 Methoden

Es wurde die gleiche Stichprobe für das Verhaltens- und das EEG-Experiment verwendet. Die Versuchspersonen nahmen zunächst an dem Verhaltensexperiment teil und später, mit Abstand von maximal zwei Wochen an, dem EEG-Experiment. Der methodische Aufbau sowie die Durchführung entsprachen größtenteils dem von Experiment 1. Alle Änderungen werden im Folgenden dargestellt.

3.2.1 Stichprobe

An der Studie nahmen 27 Probanden teil. Die Daten von 2 Teilnehmern mussten aufgrund zu starker Artefakte im EEG von der Datenanalyse ausgeschlossen werden. Somit wurden die Datensätze von 25 (17 weiblichen und 8 männlichen) Versuchspersonen im Alter zwischen 19 und 38 Jahren verwendet. Das Durchschnittsalter lag bei 25 Jahren. 19 Versuchspersonen waren Rechtshänder, 8 Linkshänder. Alle Versuchspersonen berichteten, über ein normales Hörvermögen zu verfügen. Die Sehschärfe war ebenfalls normal oder korrigiert.

Alle Teilnehmer gaben ein schriftliches Einverständnis ab. Für die Teilnahme erhielten die Versuchspersonenstunden oder einen Betrag von 20 Euro als Aufwandsentschädigung.

3.2.2 Stimulus-Material und Aufgabe

Es wurden die gleichen Stimuli für das EEG- und das Verhaltensexperiment verwendet, dabei handelte es sich um die Stimuli aus Experiment 1: Ein hoher (391 Hz) und ein tiefer (261 Hz) 100-ms-Geigenton dienten als Cues. Dem Cue folgte am Ende des Intervalls ein weißes Rauschen (Dauer: 100 ms), welches eine 10 ms lange Lücke in der Mitte haben konnte. Die beiden möglichen Intervalle, die zwischen den beiden Reizen eines Trials liegen konnten, wurden ebenfalls aus Experiment 1 übernommen (kurzes Intervall: 600 ms, langes Intervall: 1200 ms). Die Art des Cues bestimmte weiterhin das zu erwartende Intervall (Zuordnung ausbalanciert).

Anders als in Experiment 1 sollten Versuchspersonen nun nicht mehr auf alle Reize am Ende eines Intervalls reagieren, sondern stattdessen eine Go/No-Go-Aufgabe durchführen. Diese unterschied sich zwischen dem EEG- und dem Verhaltensexperiment (siehe unten).

3.2.3 Durchführung Verhaltensexperiment

Da im EEG-Experiment lediglich auf valide angekündigte Reize reagiert werden sollte und somit keine Untersuchung von Aufmerksamkeitseffekten der Verhaltensdaten möglich war, nahmen die Versuchspersonen zusätzlich an einem Verhaltensexperiment teil. Versuchspersonen wurden aufgefordert auf Reize am Ende eines Intervalls, die eine Lücke in der Mitte aufwiesen (Targets), mit einem Tastendruck mit dem rechten Zeigefinger zu reagieren. Die Reaktion sollte unabhängig davon erfolgen, ob das Target valide oder invalide angekündigt worden war. Auf Reize am Ende eines Intervalls, die durchgängig waren, also keine Lücke aufwiesen (Non-Targets), sollte nicht reagiert werden.

Vor der Durchführung des eigentlichen Verhaltensexperimentes absolvierten die Versuchspersonen zunächst drei Übungsblöcke. Der erste Übungsblock enthielt ausschließlich Trials mit valide angekündigten kurzen Intervallen, der zweite Übungsblock bestand nur aus Trials mit valide angekündigten langen Intervallen (jeweils 8 Trials mit einem (durchgängigen) Non-Target und 8 Trials mit einem Target). Ein dritter Übungsblock enthielt alle Bedingungen, die auch im eigentlichen Experiment vorkamen (8 va-

lide Trials mit Target, 8 valide Trials mit Non-Target, 4 invalide Trials mit Target, 4 invalide Trials mit Non-Target und 2 Catch Trials).

Das Verhaltensexperiment selbst bestand aus 10 Blöcken mit jeweils 78 Trials, davon 24 valide mit Target, 24 valide mit Non-Target, 12 invalide mit Target, 12 invalide mit Non-Target und 6 Catch Trials. Bei der Hälfte der Trials war das Intervall zwischen den beiden Reizen kurz (600 ms), die andere Hälfte der Trials beinhaltete ein langes Intervall (1200 ms). Insgesamt ergab sich somit ein Anteil von circa 61 % validen Trials, 31 % invaliden Trials und 8 % Catch Trials. Wie in Experiment 1 gab es eine Rückmeldung über die Richtigkeit der Reaktion direkt nach jedem Trial in der Übungsphase und am Ende jedes Blocks während des Experimentes sowie Pausen zwischen den Blöcken. Die Gesamtdauer betrug etwa eine Stunde.

Zur Überprüfung des Einflusses von zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung wurden die Reaktionszeiten für valide und invalide angekündigte Targets sowie falsche Reaktionen auf valide und invalide Non-Targets und richtige Reaktionen auf valide und invalide Targets verglichen. Zur Kontrolle von Ausreißern wurden Trials nur dann in die Analyse der Verhaltensdaten einbezogen, wenn die Reaktionszeit nicht mehr als zwei Standardabweichungen vom Mittelwert der Reaktionszeiten dieser Versuchsperson in der entsprechenden Bedingung abwich (im Mittel wurden 4.6 % der Trials aussortiert). Zur Untersuchung der Effekte des Faktors *Validität* auf die Reaktionszeiten, die relative Anzahl (in Prozent) an richtigen Reaktionen auf Targets („Treffer“) und die relative Anzahl (in Prozent) an falschen Reaktionen auf Non-Targets („falsche Alarme“) wurden diese als Funktion des zugehörigen Intervalls und der Validität analysiert. Es wurden ANOVAs mit den Faktoren *Intervall* (kurz, lang) und *Validität* (valide, invalide) gerechnet. Für jede Versuchsperson wurde zur Berechnung von Aufmerksamkeitseffekten in den Verhaltensdaten die Hälfte der validen Trials randomisiert ausgewählt, um eine gleich große Anzahl valider und invalider Trials zu erreichen.

3.2.4 Durchführung EEG-Experiment

Im EEG-Experiment, welches nach dem Verhaltensexperiment stattfand (maximal zwei Wochen Abstand zwischen den Sitzungen), variierte die Aufgabe insofern, als dass nun lediglich jene Reize relevant waren, die am Ende des angekündigten Intervalls (valide)

erschieden. Reize, die zum anderem als dem angekündigten Zeitpunkt (invalide) erschienen, hatten keinerlei Relevanz für die Aufgabe und konnten von den Versuchspersonen ignoriert werden. Valide angekündigte Reize erforderten eine Go/No-Go-Entscheidung. Die Versuchspersonen wurden aufgefordert, auf valide angekündigte Reize mit einer Lücke (Targets) zu reagieren, indem sie mit dem rechten Zeigefinger eine Taste drückten. Valide angekündigte Reize ohne Lücke (Non-Targets) erforderten keine Reaktion. Invalide angekündigte Reize erforderten nie eine Reaktion. Targets und Non-Targets wurden in jedem Trial (randomisiert) auf dem linken oder dem rechten Ohr präsentiert. Die Präsentation der Cues erfolgte binaural.

Die Versuchspersonen erhielten auch hier zunächst drei Übungsblöcke. Bei den ersten beiden Übungsblöcken handelte es sich um dieselben wie im Verhaltensexperiment. Sie dienten lediglich dazu, die Probanden noch einmal mit der Beziehung von der Art des Cues und dem zugehörigen Intervall vertraut zu machen. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Zuordnung von Cue-Ton zu Intervall (z.B. Ein hoher Ton kündigt das kurze Intervall an und ein tiefer Ton kündigt das lange Intervall an) für jede Versuchsperson im Verhaltens- und EEG-Experiment gleich blieb (Zuordnung über die Versuchspersonen hinweg ausbalanciert). Ein dritter Übungsblock enthielt alle Bedingungen des EEG-Experiments. Dieser Block bestand aus 38 Trials (16 valide mit durchgängigem Rauschen, 8 valide mit Lücken-Rauschen, 8 invalide mit durchgängigem Rauschen, 4 invalide mit Lücken-Rauschen und 2 Catch Trials), in der Hälfte der Trials war das Intervall kurz, in der anderen Hälfte der Trials war das Intervall lang. Das EEG-Experiment bestand aus 20 Blöcken mit jeweils 76 Trials (32 valide mit durchgängigem Rauschen, 16 valide mit Lücken-Rauschen, 16 invalide mit durchgängigem Rauschen, 8 invalide mit Lücken-Rauschen, 4 Catch Trials). Somit ergab sich ein Anteil von etwa 63 % validen Trials, 32 % invaliden Trials und 5 % Catch Trials.

Zur Überprüfung von Aufmerksamkeitseffekten wurde ein Vergleich der EKP valider und invalider Non-Targets unternommen. Es wurden somit physikalisch identische Reize verglichen, auf die keine Reaktion erfolgt war.

Rückmeldungen und Pausen entsprachen dem Verhaltensexperiment und Experiment 1, Versuchspersonen erhielten direkte Rückmeldungen nach jedem Trial in der Übungsphase und Rückmeldung über die Anzahl an richtigen Reaktionen, falschen Reaktionen und falsch ausgelassenen Reaktionen nach jedem Block in der Experimentalphase. Die Ge-

samtdauer des EEG-Experimentes inklusive Übungsblöcken und Applikation sowie Entfernung der Elektroden betrug etwa zwei Stunden.

3.2.5 EEG-Aufnahme und Auswertung

Die Messung des EEGs erfolgte über 29 aktive Elektroden (actiCAPs; Brain Products, Gilching, Deutschland), welche in einer elastischen Elektrodenhaube befestigt waren. Die Elektroden befanden sich an den Positionen F7, F3, Fz, F4, F8, FC5, FC1, FCz, FC2, FC6, T7, C3, Cz, C4, T8, CP5, CP1, CP2, CP6, P7, P3, Pz, P4, P8, O1, Oz, O2, PO9 und PO10. Zusätzlich wurden horizontale Augenbewegungen über die Differenz der Elektroden F7 und F8 gemessen und vertikale Augenbewegungen über die Elektrode FP2 erfasst. Während der Ableitung wurden alle Elektroden an der FCz-Elektrode referenziert. Eine Ground-Elektrode wurde auf der Position AFc platziert. Die Impedanzen wurden unter einem Wert von 25 k Ω gehalten. Offline wurden alle Elektroden auf die verbundenen mastoiden Elektroden (Elektrodenpositionen TP9 und TP10) neu referenziert (vergleiche Nunez, 1991). Die Ableitung des EEGs erfolgte bei einer Digitalisierungsrate von 250 Hz. Die Filterung der Daten erfolgte über einen Butterworth-Zero-Phase-Filter mit einem *low cut-off* bei 0.1 Hz und einem *high cut-off* bei 30 Hz, 24 db/oct. Zudem wurden die Amplituden der aktiven Elektroden der Kopfhaut um die Aktivität der Augenelektroden bereinigt. Dazu wurde der Algorithmus nach Gratton et al. (1983) verwendet.

Zur elektrophysiologischen Untersuchung des Einflusses zeitlicher Aufmerksamkeit auf die Reizverarbeitung wurden EKP valide und invalide angekündigter Non-Targets verglichen. Die mittleren EKP valider und invalider Non-Targets wurden separat für das kurze und das lange Intervall berechnet. Trials wurden nur dann in die Berechnung mit einbezogen, wenn keine Reaktion innerhalb von 1000 ms erfolgt war. In die gemittelten EKP valider Targets ging lediglich eine randomisiert gezogene Hälfte aller Trials ein, um ein vergleichbares Signal-Rausch-Verhältnis zwischen der validen und der invaliden Bedingung herzustellen. Die gebildeten Segmente begannen 200 ms vor dem Auftreten des Non-Targets und endeten 600 ms dessen nach Erscheinen. Wie auch in Experiment 1 wurde eine 50-ms-Post-Stimulus-Baseline zugrunde gelegt um Überlagerung der Amplitude durch CNV-Aktivität zu minimieren. Das Entfernen von Trials mit Artefak-

ten erfolgte nach den gleichen Kriterien wie in Experiment 1. Die Daten einer Versuchsperson wurden nur dann in die Auswertung einbezogen, wenn mindestens zwei Drittel der Trials in jeder Bedingung nach Ausschluss enthalten blieben. Anhand des Amplitudenverlaufs der Grand Averages wurde die mittlere Amplitude im Zeitbereich von 90 ms bis 130 ms nach dem Non-Target als Analysezeitraum der N1-Komponente festgelegt sowie die mittlere Amplitude im Intervall von 250 ms bis 400 ms nach dem Non-Target als Analysezeitraum für die P300-Komponente.

Um die Art der Auswertung zwischen den beiden Experimenten konsistent zu halten, wurden auch in Experiment 2 die neun Elektrodenpositionen aus Experiment 1 (F3, Fz, F4, C3, Cz, C4, P3, Pz, P4) für die Analysen zugrunde gelegt und dazu jeweils einer Stufe des AZP- und des LMR-Faktors zugeordnet.

Die statistische Auswertung erfolgte in der gleichen Art, wie in Experiment 1: Zur Untersuchung des Einflusses zeitlicher Aufmerksamkeit auf die N1-Komponente wurde eine ANOVA mit den Faktoren *Intervall* (kurz, lang), *Validität* (valide, invalide), *LMR* (links, medial, rechts) und *AZP* (anterior, zentral) gerechnet. Die ANOVA für die P300-Komponente enthielt die Faktoren *Intervall* (kurz, lang), *Validität* (valide, invalide), *LMR* (links, medial, rechts) und *AZP* (anterior, zentral, parietal). Zur Überprüfung der Interaktionen höherer Ordnung wurden entsprechende ANOVAs berechnet (O'Brien & Kaiser, 1985).

Zur Untersuchung des Einflusses von Aufmerksamkeit vor dem Auftreten des Non-Targets wurden die mittleren EKP auf Cue-Reize gebildet, separat für das Intervall, welches durch den Cue angekündigt wurde (kurz, lang) und dem tatsächlichen Erscheinen des Non-Targets (am Ende des kurzen oder des langen Intervalls). Die Segmente begannen 200 ms vor dem Cue und endeten 1800 ms nach dessen Erscheinen und damit 600 ms nach dem Ende des langen Intervalls. Die Baseline wurde korrigiert (-200-0 ms). Trials wurden nur in die Berechnung mit einbezogen, wenn keine Reaktion innerhalb von 1000 ms nach Erscheinen des Non-Targets erfolgt war. Wie auch bei der Berechnung der mittleren EKP der Non-Targets ging nur eine (randomisiert gezogene) Hälfte der Trials aus der validen Bedingung in die Berechnung der mittleren Cue-EKP mit ein. Das Aussortieren von Artefakten erfolgte nach den Kriterien aus Experiment 1. Analog zu Experiment 1 erfolgte auch die Berechnung der sieben aufeinanderfolgenden, 40 ms langen Zeitintervalle (Faktor *Zeitfenster*) sowie die statistische Auswertung: Es

wurde eine ANOVA mit den Faktoren *Intervall* (kurz, lang), *Zeitfenster* (sieben Stufen), *Validität* (valide, invalide), *LMR* (links, medial, rechts) und *AZP* (anterior, zentral, parietal) gerechnet.

3.3 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Verhaltensexperimentes und des EEG-Experimentes dargestellt. Die statistische Analyse der Daten erfolgte analog zu Experiment 1 mit SAS 9.1 (SAS Institute, Cary, USA). Die Huynh-Feld-Korrektur wurde verwendet, wenn die Sphäritätsannahme verletzt war (Huynh & Feld, 1976). Es werden ausschließlich Effekte berichtet, die mindestens einen der beiden experimentellen Faktoren *Intervall* und *Validität* beinhalten.

3.3.1 Verhaltensdaten

Es zeigte sich ein Haupteffekt des Faktors *Intervall*, der darauf basierte, dass Versuchspersonen insgesamt schneller auf Targets reagierten, die am Ende eines kurzen Intervalls erschienen, verglichen mit Reaktionen auf Targets, die nach einem langen Intervall erschienen: $F(1, 24) = 9.83, p < .01, \eta^2 = .29$. Schnellere Reaktionen wurden zudem für valide gegenüber invalide angekündigte Targets beobachtet (Haupteffekt des Faktors *Validität*: $F(1, 24) = 4.38, p < .05, \eta^2 = .15$). Eine signifikante Interaktion wurde nicht beobachtet.

Wie auch in Experiment 1 wurden zusätzlich separate ANOVAs für das kurze und das lange Intervall berechnet. Hierbei zeigte sich für das kurze Intervall, dass Versuchspersonen signifikant schneller auf valide Targets ($M = 404$ ms, $SE = 14$) reagierten als auf invalide Targets ($M = 412$ ms, $SE = 14$): $F(1, 24) = 4.62, p < .04, \eta^2 = .16$. Für das lange Intervall wurde ein solcher Unterschied zwischen den Reaktionszeiten valider Targets ($M = 419$ ms, $SE = 13$) und invalider Targets ($M = 420$ ms, $SE = 14$) nicht gefunden ($F < 1$), siehe Abbildung 7.

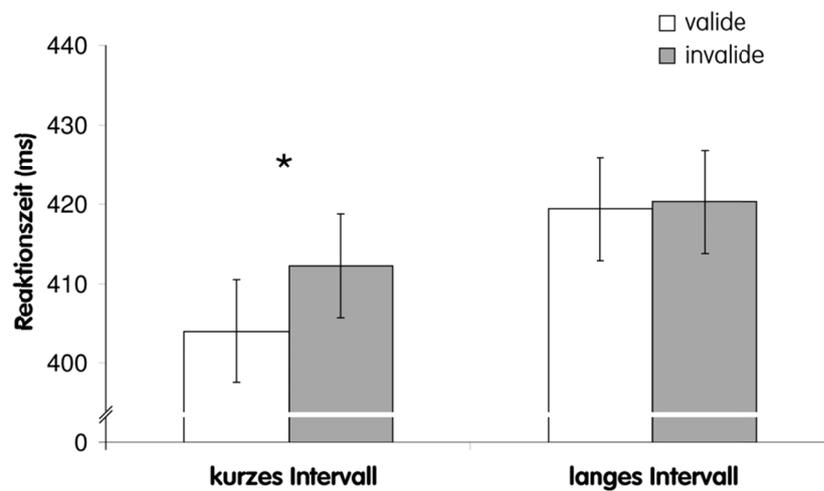


Abbildung 7: Mittlere Reaktionszeiten für Targets nach dem kurzen (links) und dem langen (rechts) Intervall. Die Fehlerbalken stellen den Standardfehler dar.

Es wurden insgesamt nur sehr wenige Fehler gemacht. Versuchspersonen reagierten auf über 99 % der Targets (Treffer) und nur auf etwa 1 % der Non-Targets (falsche Alarmer). In der Gesamtanalyse wurde kein Effekt des Faktors *Validität* beobachtet, weder für die Treffer, noch für die falschen Alarmer (alle $p > .22$). Sowohl für die Treffer als auch für die falschen Alarmer zeigte sich eine Tendenz für genauere (mehr richtige) Reaktionen für Targets, die nach einem langen Intervall erschienen, verglichen mit Targets, die nach einem kurzen Intervall erschienen (Haupteffekt des Faktors *Intervall* für die Treffer: $F(1, 24) = 3.97, p = .06, \eta^2 = .14$; für die falschen Alarmer: $F(1, 24) = 3.67, p = .07, \eta^2 = .13$).

Auch in den separaten Analysen wurden keine Effekte des Faktors *Validität* beobachtet. Weder für das kurze Intervall (Treffer: valide: $M = 99.53\%$, $SE = 0.15$, invalide: $M = 99.73\%$, $SE = 0.21$; falsche Alarmer: valide: $M = 0.93\%$, $SE = 0.23$, invalide: $M = 1.27\%$, $SE = 0.31$), noch für das lange Intervall (Treffer: valide: $M = 99.73\%$, $SE = 0.14$, invalide: $M = 99.80\%$, $SE = 0.11$; falsche Alarmer: valide: $M = 0.73\%$, $SE = 0.21$, invalide: $M = 0.67\%$, $SE = 0.25$) zeigte sich eine Beeinflussung der Genauigkeit durch zeitliche Aufmerksamkeit (alle $p > .22$).

3.3.2 EKP-Daten

Die EKP der Cues zeichneten sich durch einen N1-P2-Komplex aus, dem eine langsame Negativierung über fronto-zentralen Regionen folgte. Im Zeitbereich zwischen 320 und 600 ms, also vor dem Ende des kurzen Intervalls, war diese Negativierung größer, wenn der Cue das kurze Intervall angekündigt hatte. Im Zeitbereich zwischen 920 und 1200 ms, also vor dem Ende des langen Intervalls, war die Negativierung stärker ausgeprägt, wenn der Cue das lange Intervall angekündigt hatte (siehe Abbildung 8).

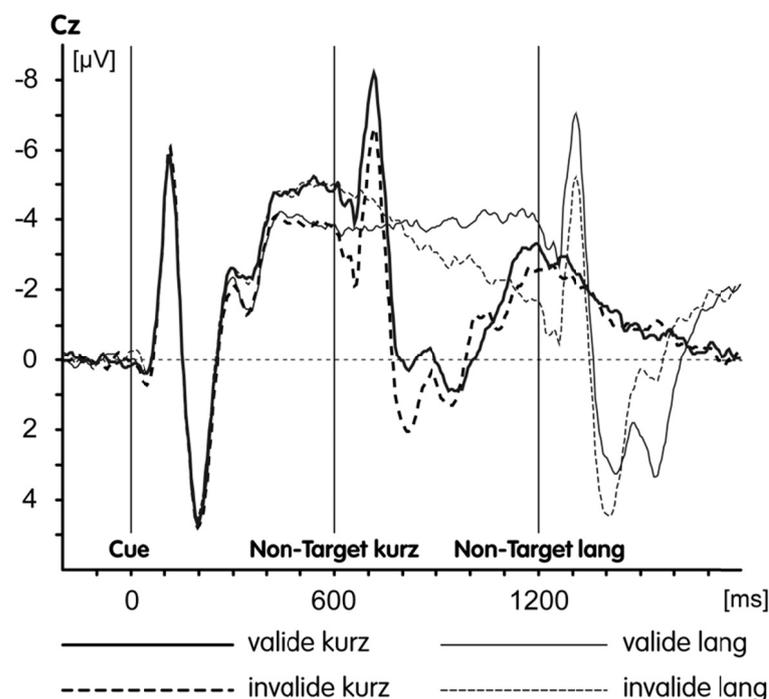


Abbildung 8: Verlauf der langsamen Negativierung. Grand-Average-EKP der Cues, welche das Erscheinen des Non-Targets valide (durchgezogene Linie) und invalide (gestrichelte Linie) nach dem kurzen Intervall (dickere Linie) und dem langen Intervall (dünnere Linie) ankündigten; an der Cz-Elektrode. Es wurde eine 200 ms Prä-Stimulus-Baseline zugrunde gelegt. Die vertikalen Linien markieren den Zeitpunkt des Erscheinens von Cue und Non-Targets.

3.3.2.1 Cue-EKP

In der Gesamtanalyse zeigten sich einige signifikante Interaktionen höherer Ordnung mit den Faktoren *Zeitfenster*, *Intervall*, *Validität*, *AZP* und *LMR* (siehe Tabelle 1), welche auf eine lang andauernde Negativierung schließen lassen, die vor dem angekündigten Zeitpunkt größer ausfiel.

Tabelle 1: Effekte mit den Faktoren *Intervall* und *Validität* der Gesamt-ANOVA für die Cue-EKP

Effekt	df	F	p	ϵ	η^2
Intervall * AZP	2, 48	23.80	< .01	0.75	.50
Intervall * AZP * LMR	4, 96	7.70	< .01	1.02	.24
Intervall * AZP * Zeitfenster	12, 288	77.75	< .01	0.48	.76
Validität	1, 24	18.14	< .01		.43
Validität * AZP	2, 48	5.73	.01	0.73	.19
Validität * AZP * LMR	4, 96	3.14	.03	0.78	.12
Validität * Zeitfenster	6, 144	5.67	< .01	0.73	.19
Intervall * Validität * AZP * LMR	4, 96	5.9	< .01	0.87	.20
Intervall * Validität * Zeitfenster	6, 144	2.45	< .05	0.72	.09

In den separaten Analysen der beiden Intervalle zeigte sich vor dem Ende des kurzen Intervalls eine negativere Amplitude, wenn der Cue das kurze Intervall (*valide*) angekündigt hatte (Haupteffekt des Faktors *Validität*: $F(1, 24) = 7.46, p = .01, \eta^2 = .24$). Dieser Effekt war an frontalen Elektroden besonders ausgeprägt (Interaktion *Validität * AZP*: $F(2, 48) = 6.62, p < .01, \epsilon = 0.75, \eta^2 = .22$). Der Validitäts-Effekt veränderte sich allerdings nicht über die Zeit hinweg (Interaktionen mit den Faktoren *Validität* und *Zeitfenster*: alle $p > .12$).

Vor dem Ende des langen Intervalls war die Negativität stärker ausgeprägt, wenn der Cue das lange Intervall (*valide*) angekündigt hatte (Haupteffekt *Validität*: $F(1, 24) = 13.06, p = .01, \eta^2 = .35$), dies war besonders an zentralen Elektroden der Fall (Interaktion *Validität * AZP*: $F(2, 48) = 4.24, p < .03, \epsilon = 0.84, \eta^2 = .15$; *Validität * AZP * LMR*: $F(4, 96) = 6.53, p < .01, \epsilon = 0.75, \eta^2 = .21$). Dieser Effekt nahm über die Zeit hinweg zu (Interaktion *Validität * Zeitfenster*: $F(6, 144) = 8.17, p < .01, \epsilon = 0.68, \eta^2 = .25$; *Validität * Zeitfenster * AZP*: $F(12, 288) = 2.52, p < .05, \epsilon = 0.33, \eta^2 = .10$).

3.3.2.2 Non-Target-EKP

Die EKP der Non-Targets zeigten eine N1-Komponente mit einem Maximum bei 112 ms sowie eine P300-Komponente mit einem Maximum um 350 ms. Für das kurze Intervall zeigten valide angekündigte Non-Targets eine größere N1-Amplitude (im Zeitbereich von 90 bis 130 ms) als invalide angekündigte Non-Targets über der linken Hemisphäre. Für das lange Intervall war umgekehrt die N1-Amplitude für invalide Non-Targets größer als für valide Non-Targets. Sowohl für das lange als auch für das kurze Intervall war die P300-Amplitude (im Zeitbereich zwischen 250 und 400 ms) erhöht für valide Non-Targets, im Vergleich zu invaliden Non-Targets (siehe Abbildung 9).

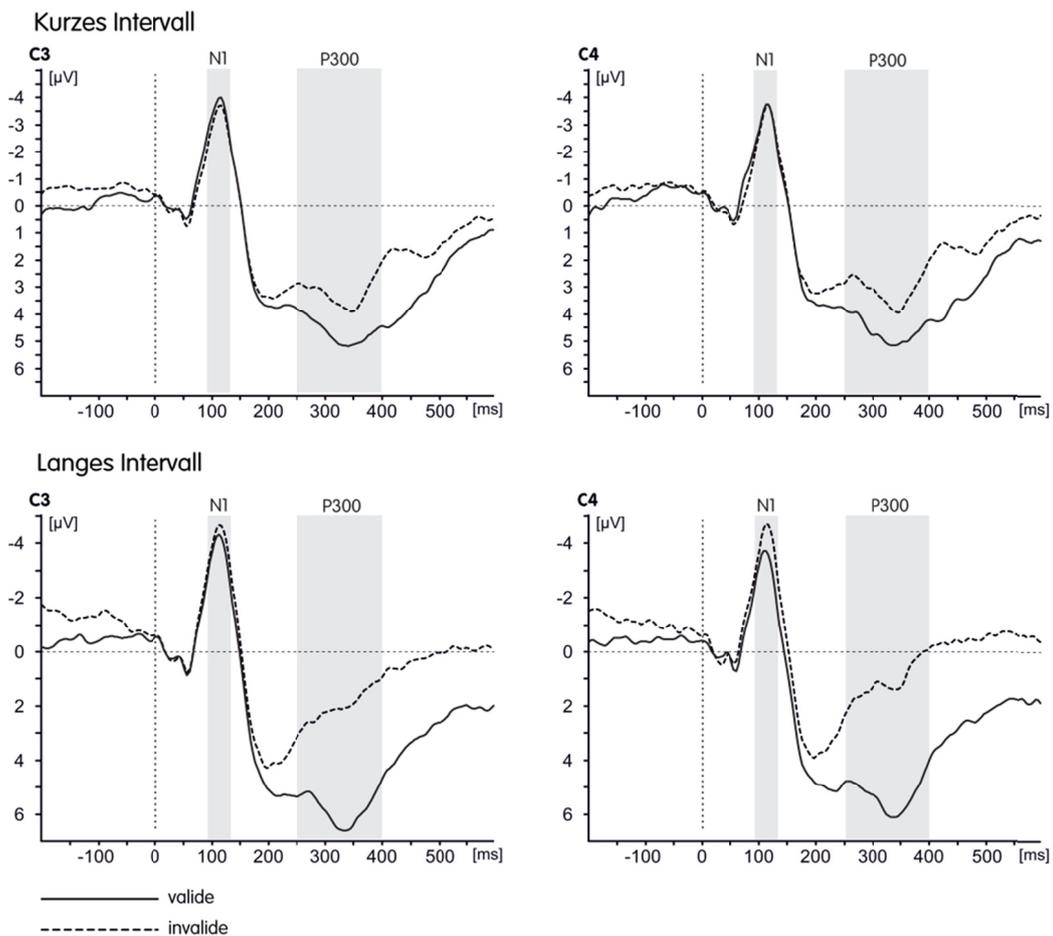


Abbildung 9: Grand-Average-EKP validier (durchgezogene Linien) und invalider (gestrichelte Linien) Non-Targets, welche nach dem kurzen Intervall (obere Hälfte) und dem langen Intervall (untere Hälfte) erschienen, jeweils für die Elektroden C3 und C4. Es wurde eine 50 ms Post-Stimulus-Baseline zugrunde gelegt. Die vertikale Linie bei 0 ms markiert den Onset des Non-Targets. Die Analysezeiträume für die N1- und P300-Komponente sind grau hinterlegt.

N1-Komponente

Die Gesamtanalyse zeigte, dass sich die Effekte des Faktors *Validität* für den N1-Zeitbereich für Non-Targets des kurzen und des langen Intervall unterschieden (Interaktion *Intervall * Validität*: $F(1, 24) = 7.38, p = .01, \eta^2 = .24$; *Intervall * Validität * AZP*: $F(1, 24) = 6.25, p = .02, \eta^2 = .21$).

Separate ANOVAs für das kurze Intervall zeigten eine größere N1-Amplitude für valide Non-Targets als für invalide Non-Targets (Interaktion *Validität * LMR*: $F(2, 48) = 3.58, p = .04, \varepsilon = 0.98, \eta^2 = .13$). Separate Analysen für die einzelnen Stufen des *LMR*-Faktors, also für linke, mediale und rechte Elektrodenpositionen, zeigten, dass dieser Effekt nur für die linke Hemisphäre signifikant war ($F(1, 24) = 7.45, p = .01, \eta^2 = .24$) aber nicht für mediale ($p > .29$) oder rechte Elektrodenpositionen ($F < 1$).

Für das lange Intervall ergab sich eine kleinere N1-Amplitude für valide Non-Targets als für invaliden Non-Targets (Haupteffekt *Validität*: $F(1, 24) = 5.12, p = .03, \eta^2 = .18$; Interaktion *Validität * AZP*: $F(1, 24) = 4.32, p < .05, \eta^2 = .15$). Die Ergebnisse separater Analysen für die beiden Stufen des *AZP*-Faktors, also für frontale und zentrale Elektrodenpositionen, zeigten, dass dieser Effekt nur an den zentralen Elektrodenpositionen signifikant war ($F(1, 24) = 6.44, p = .02, \eta^2 = .21$), nicht aber an frontalen Elektroden ($p > .10$).

Topographischer Vergleich des Validitäts-Effektes der langsamen Negativierung vor dem Non-Target mit dem Validitäts-Effekt der N1-Amplitude

Um sicherzustellen, dass es sich bei dem hier beobachteten Validitäts-Effekt in der N1-Amplitude tatsächlich um eine Modulation der N1-Komponente handelt, die erhöhte Amplitude für valide Non-Targets also nicht nur aus einer Fortführung der langsamen Negativierung vor dem Reiz resultiert, wurde ein topographischer Vergleich der beiden Effekte gerechnet. Hierzu wurden die Differenzpotentiale $EKP(\text{valide}) - EKP(\text{invalide})$ gebildet, zum einen für den Zeitbereich der N1 (90-130 ms) von den Non-Target-EKP, zum anderen für das 40 ms lange Zeitfenster der Cue-EKP, welches kurz vor dem Ende des Intervalls lag (also das 550-600-ms-Zeitfenster für das kurze Intervall und das 1160-1200-ms-Zeitfenster für das lange Intervall). Die jeweiligen Differenzpotentiale wurden separat für das kurze und das lange Intervall berechnet. Anschließend wurde eine A-

NOVA mit den Faktoren *Intervall* (kurz, lang), *Prä-Post* (vor Ende des Intervalls (Differenz der Cue-EKP), nach Ende des Intervalls (Differenz der Non-Targets-EKP)), *LMR* (links, medial, rechts) und *AZP* (anterior, zentral, parietal) gerechnet. Es wurden Analysen sowohl mit den Rohwerten der Differenzen sowie mit den normalisierten Werten der Differenzen (separat normalisiert für jede Stufe von *Intervall*, *Prä-Post* und für jede Versuchsperson ($M = 5$, $SD = 2$; McCarthy & Wood, 1985; Urbach & Kutas, 2002) durchgeführt.

Signifikante Interaktionen der Faktoren *Prä-Post* und *Intervall* mit den topographischen Faktoren *AZP* und *LMR* (siehe Tabelle 2) legen die Vermutung nahe, dass es sich bei dem Validitäts-Effekt, welcher für die N1 beobachtet wurde, nicht um eine Fortführung des Validitäts-Effektes aus der langsamen Negativierung vor dem Non-Target handelt, weder für das kurze, noch für das lange Intervall.

Tabelle 2: Effekte der Faktoren *Prä-Post* und *Intervall* mit den topographischen Faktoren *AZP* und *LMR* für die ANOVA der valide-invalide-Differenzen des N1-Zeitbereichs der Non-Target-EKP und des letzten 40-ms-Zeitfensters der Cue-EKP (Rohwerte und standardisierte Werte).

Effekt	Rohwerte					Standardisierte Werte			
	df	F	p	ϵ	η^2	F	p	ϵ	η^2
Gesamtanalyse									
Intervall * Prä-Post * AZP	2, 48	6.32	< .01	0.73	.21	6.4	< .01	0.72	.21
Intervall * Prä-Post * AZP * LMR	4, 96	5.75	< .01	0.79	.19	5.75	< .01	0.79	.19
Kurzes Intervall									
Prä-Post * AZP * LMR	4, 96	2.78	< .04	0.95	.10	2.63	< .05	0.94	.10
Langes Intervall									
Prä-Post * AZP	2, 48	5.39	< .02	0.86	.18	6.77	< .01	0.75	.22
Prä-Post * AZP * LMR	4, 96	3.67	< .02	0.84	.13	3.9	< .01	0.88	.14

P300-Komponente

In der Gesamtanalyse zeichneten sich valide Non-Targets durch eine größere P300-Amplitude aus als invalide Non-Targets (Haupteffekt des Faktors *Validität*: $F(1, 24) = 24.04$, $p < .01$, $\eta^2 = .50$), besonders an zentralen und parietalen Elektrodenpositionen (Interaktion *Validität * AZP*: $F(2, 48) = 14.52$, $p < .01$, $\epsilon = 1.01$, $\eta^2 = .38$). Dieser Effekt war für das kurze und das lange Intervall unterschiedlich stark ausgeprägt (Interaktion *Validität * Intervall*: $F(1, 24) = 26.14$, $p < .01$, $\eta^2 = .52$; *Validität * Intervall * LMR*: $F(2, 48) = 5.51$, $p < .01$, $\epsilon = 0.91$, $\eta^2 = .19$; *Validität * Intervall * AZP * LMR*: $F(4, 96) = 5.61$, $p < .01$, $\epsilon = 1.06$, $\eta^2 = .19$).

In den separaten Analysen zeigte sich eine größere P300-Amplitude für valide gegenüber invaliden Non-Targets, sowohl für das kurze Intervall (Haupteffekt *Validität*: $F(1, 24) = 5.21$, $p = .03$, $\eta^2 = .18$) als auch für das lange Intervall (Haupteffekt *Validität*: $F(1, 24) = 30.58$, $p < .01$, $\eta^2 = .56$). Für das kurze Intervall war dieser Effekt auf die zentralen Elektrodenpositionen begrenzt (Interaktion *Validität * AZP*: $F(2, 48) = 7.82$, $p < .01$, $\epsilon = 0.94$, $\eta^2 = .25$), im langen Intervall hatte der Effekt zwar ein zentro-parietales Maximum, war aber auch an frontalen Regionen signifikant (Interaktion *Validität * AZP*: $F(2, 48) = 14.30$, $p < .01$, $\epsilon = 1.08$, $\eta^2 = .37$, *Validität * LMR*: $F(2, 48) = 4.32$, $p = .02$, $\epsilon = 0.87$, $\eta^2 = .15$, *Validität * AZP * LMR*: $F(4, 96) = 4.06$, $p < .01$, $\epsilon = 1.05$, $\eta^2 = .14$).

3.4 Diskussion

Das Ziel von Experiment 2 war es, zu untersuchen, ob zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung frühe Stufen der Verarbeitung akustischer Reize dann beeinflusst, wenn der Aufmerksamkeitsfokus in jedem Trial neu auf einen von zwei möglichen Zeitpunkten orientiert werden muss und nur valide Reize eine Reaktion erfordern, während invalide Reize vollständig ignoriert werden können. Ein zusätzliches Verhaltensexperiment sollte zudem überprüfen, ob auch mit der hier verwendeten Go/No-Go-Aufgabe ein Verarbeitungsvorteil valide angekündigter Reize gegenüber invalide angekündigten Reizen existiert.

Die Ergebnisse des Verhaltensexperimentes replizieren die Befunde aus Experiment 1 und vorausgegangenen Studien mit dem visuellen zeitlichen Cueing-Paradigma. Ver-

suchspersonen reagierten signifikant schneller, wenn das Target zu dem Zeitpunkt erschien, der zuvor durch den Cue angekündigt worden war, verglichen mit den Reaktionen auf Targets, die zu dem anderen als dem angekündigten Zeitpunkt erschienen. Dieser Effekt war auf das kurze Intervall beschränkt. Ein Verarbeitungsvorteil durch die Ankündigung des Zeitpunktes über den Cue ergab sich also nur dann, wenn das Target früher als erwartet erschien (Vergleich der Bedingungen kurz-valide und kurz-invalide), nicht aber wenn das Target später als angekündigt erscheint (Vergleich der Bedingungen lang-valide und lang-invalide). Auch dieser Befund stellt eine Replikation der Ergebnisse aus Experiment 1 und den Studien zum visuellen zeitlichen Cueing dar (z.B. Coull & Nobre, 1998; Miniussi et al., 1999). Bezüglich der Genauigkeit der Reaktionen zeigte sich kein Einfluss des Faktors *Validität*, so dass davon ausgegangen werden kann, dass die schnellere Verarbeitung valider Targets nicht auf einen Geschwindigkeits-Genauigkeits-Ausgleich zurückzuführen ist. Aus diesen Befunden lässt sich somit schließen, dass in der hier verwendeten Go/No-Go-Aufgabe eine Orientierung der Aufmerksamkeit auf den durch den Cue angekündigten Zeitpunkt stattgefunden hat. Der unerwartete Befund geringerer Fehler für invalide gegenüber validen Targets aus Experiment 1 wurde nicht repliziert.

Die Daten des EEG-Experimentes zeigen elektrophysiologische Korrelate zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung auf: Es wurde eine erhöhte P300-Amplitude für valide (verglichen mit invaliden) Non-Targets im kurzen und langen Intervall beobachtet sowie eine erhöhte N1-Amplitude für valide (verglichen mit invaliden) Non-Targets im kurzen Intervall. Dieser N1-Effekt war invertiert für Non-Targets nach dem langen Intervall.

Die Tatsache, dass eine signifikant größere N1-Amplitude über frontalen und zentralen Regionen der linken Hemisphäre für valide angekündigte Non-Targets beobachtet wurde, die am Ende des kurzen Intervalls erschienen, lässt darauf schließen, dass eine Verbesserung sensorischer Prozesse der akustischen Verarbeitung stattgefunden hat. Eine stärker negativ ausgeprägte Amplitude im Zeitbereich der auditiven N1-Komponente wurde ebenfalls in Studien berichtet, die zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung auf akustische Reize mittels des zeitlichen Hillyard-Paradigmas untersuchten (Lange et al., 2006; Lange & Röder, 2006; Lange et al., 2003; Röder et al., 2007, Sanders & Astheimer, 2008; Eine Übersicht liefert Lange & Röder, 2010), in welchem die Aufmerksam-

keit konstant über die Dauer eines Blocks auf eines von zwei Zeitintervallen orientiert wurde und dabei selektiv nur der Zeitpunkt am Ende dieses Intervalls beachtet werden musste, während das andere Intervall ignoriert werden konnte. Die Ergebnisse von Experiment 2 weiten diesen Befund nun auf ein Paradigma aus, in dem Aufmerksamkeit nicht konstant über einen gesamten Block auf eines der Intervalle ausgerichtet wurde, sondern eine Orientierung der Aufmerksamkeit für jedes Trial neu vorgenommen werden musste.

Der invertierte N1-Effekt für das lange Intervall wurde hingegen in anderen Studien zur auditiven oder visuellen zeitlichen Aufmerksamkeitsorientierung bisher nicht berichtet. Auf diesen Punkt soll in der Gesamtdiskussion eingegangen werden.

Die Befunde sprechen somit für einen Einfluss des Faktors *Aufgabenrelevanz unbeachteter Stimuli* auf die Frage, ob zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung lediglich späte Prozesse der akustischen Reizverarbeitung beeinflusst, wie etwa Entscheidungs- oder Reaktionsvorbereitungsprozesse, oder aber ob zusätzlich eine Beeinflussung früher Prozess-Stufen auftritt, die mit der Reizwahrnehmung assoziiert sind.

Wie auch in Experiment 1 wurde eine langsame Negativierung über fronto-zentralen Regionen im Zeitraum zwischen Cue und (Non-)Target beobachtet, die ebenfalls eine Modulation durch den Faktor *Validität* aufwies. Diese Negativierung war in Experiment 2 vor dem Ende des zu beachtenden Intervalls stärker ausgeprägt, so dass sich dort möglicherweise der Prozess der Ausrichtung von Aufmerksamkeit auf den angekündigten Zeitpunkt abbildet (vergleiche Griffin et al., 2002; Lange et al., 2003; Miniussi et al., 1999; Sanders & Astheimer, 2008). Auch in Experiment 1 konnte eine solche Negativierung beobachtet werden, die vermutlich der CNV-Familie zugeordnet werden kann. Anders als in Experiment 1 wurde hier eine Modulation durch zeitliche Aufmerksamkeit beobachtet, ähnlich wie es auch für die N1-Amplitude der Fall war. Es erscheint dennoch wenig wahrscheinlich, dass die hier berichtete negativere N1-Amplitude für valide gegenüber invaliden Non-Targets auf den Unterschied in der Amplitude der vorausgegangen langsamen Negativierung zurückgeht. Zum einen wurde eine sehr konservative Baseline von 0 bis 50 ms nach dem Erscheinen des Reizes für die EKP der Non-Targets zugrunde gelegt, welche eine Reduktion des Einflusses der Aktivität vor dem Reiz bewirken sollte (vergleiche Correa et al., 2006; Correa & Nobre, 2008; Griffin et al., 2002). Zum anderen wurde ein Topographie-Vergleich berechnet, der zeigte,

dass sich die beiden Effekte topographisch voneinander unterscheiden. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die beiden Effekte unterschiedliche Prozesse widerspiegeln (vergleiche auch Lange et al., 2003).

Es wurde zudem, wie auch in Experiment 1, eine Modulation der P300-Komponente durch zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung beobachtet. Die EKP auf valide Non-Targets zeichneten sich durch eine größere P300-Amplitude aus als die EKP auf invalide Non-Targets. Somit wurde eine durch Aufmerksamkeit modulierte P300-Amplitude für Reize beobachtet, die keinerlei Reaktion erforderten (Non-Targets). Bisher war ein solcher Effekt primär für Stimuli berichtet worden, auf welche eine Reaktion erfolgte (z.B. Griffin et al., 2002; Miniussi et al., 1999; Sanders & Astheimer, 2008). Ein ähnlicher Befund zeigte sich allerdings auch in der Studie von Lange et al. (2003), in der ebenfalls eine erhöhte P300 für beachtete Standard-Reize gegenüber unbeachteten Standard-Reizen im zeitlichen Hillyard-Paradigma berichtet wurde. Es erscheint unwahrscheinlich, dass der Effekt einer erhöhten P300-Amplitude für valide gegenüber invaliden Non-Targets in Experiment 2 eine durch Aufmerksamkeit verbesserte Reaktionsauswahl- oder Reaktionsvorbereitungsprozesse widerspiegelt, wie ähnliche Effekte auf Targets (also Reize, die eine Reaktion erfordern) interpretiert wurden (z.B. Nobre, 2001), da keinerlei Reaktion gefordert wurde. In der in Experiment 2 verwendeten Go/No-Go-Aufgabe sollten Versuchspersonen auf valide Targets reagieren, während valide Non-Targets und invalide Reize keine Reaktion erforderten. Da auf Non-Targets also keine Reaktion erfolgte, unabhängig davon ob sie valide oder invalide angekündigt worden waren, erfordert die Verarbeitung dieser Reize keinen Prozess der Reaktionsauswahl oder Reaktionsausführung. Dennoch scheint es einen Unterschied innerhalb später, reaktionsbezogener Prozesse zwischen beachteten und unbeachteten Non-Targets zu geben. Möglicherweise lässt sich die stärkere Positivierung für valide Non-Targets im Zeitbereich der P300 mit der Unterdrückung einer Reaktion auf valide Non-Targets erklären. Während invalide Reize vollständig ignoriert werden konnten, mussten valide Non-Targets beachtet und soweit verarbeitet werden, dass eine Entscheidung darüber getroffen werden konnte, ob eine Reaktion ausgeführt werden sollte oder nicht. Die Verarbeitung valider und invalider Non-Targets unterschied sich somit vermutlich um diesen Prozess der Entscheidung und Zurückhaltung einer Reaktion. Übereinstimmend mit dieser Vermutung konnte in aktuellen Studien gezeigt werden, dass die P300-

Komponente in den EKP auf No-Go-Reize⁴ äquivalent zu den Non-Targets in Experiment 2, ein Abbild der Inhibition einer motorischen Reaktion zu sein scheint (z.B. Bruin, Wijers, & van Staveren, 2001; Smith, Johnstone, & Barry, 2006, 2007). Entsprechend dieser Vermutung konnte gezeigt werden, dass die Amplitude der P300 auf No-Go-Reize vom Ausmaß der vorausgegangen Vorbereitung einer Reaktion abhängt: Je stärker eine Reaktion vorbereitet wurde, desto mehr Inhibition war erforderlich, um die Reaktion zurückzuhalten, wenn ein No-Go-Reiz präsentiert wurde (Bruin et al., 2001, Smith et al., 2007). Diese Erklärung lässt sich auch auf die Befunde von Experiment 2 anwenden: Da nur die Stimuli, die zum angekündigten Zeitpunkt erschienen (valide), relevant für die Aufgabe und somit für eine potentiellen Reaktion waren, wird die motorische Vorbereitung einer Reaktion zum beachteten Zeitpunkt größer gewesen sein als zum unbeachteten Zeitpunkt. Um also entsprechend der Aufgabe auf valide Non-Targets nicht zu reagieren, wird somit ein größeres Maß an Inhibition erforderlich gewesen sein als im Falle invalider Non-Targets. Ein Unterschied, welcher sich in der größeren P300-Amplitude valider gegenüber invalider Non-Targets widerspiegelt.

⁴ In den hier zitierten Studien wird von der „No-Go-P3“ gesprochen, aus Gründen der Konsistenz in der Benennung soll hier weiterhin der Begriff P300 (anstatt der P3) als Synonym verwendet werden.

4 Gesamtdiskussion

4.1 Hintergrund und Zielsetzung der Studie

Ziel der hier vorgestellten Experimente war es, mehr über den Einfluss zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung auf die Verarbeitung akustischer Stimuli zu erfahren. In der aktuellen Literatur wird die Frage danach, welche Prozesse der Reizverarbeitung durch selektive zeitliche Aufmerksamkeit beeinflusst werden und inwieweit sich diese Beeinflussung mit jenen Verarbeitungsvorteilen deckt, die durch selektive räumliche Aufmerksamkeit bewirkt werden, nur unbefriedigend und teilweise widersprüchlich beantwortet. In einer ersten Studie untersuchten Coull und Nobre (1998) die Auswirkungen selektiver zeitlicher und räumlicher Aufmerksamkeit auf die Verarbeitung visueller Reize in einer Studie mit bildgebenden Verfahren. Es zeigte sich, dass die Prozesse teilweise überlappen, gleichzeitig aber signifikante Unterschiede bestehen. Die Autoren postulierten ein generelles neuronales Netzwerk, welches für Aufmerksamkeitsorientierung zuständig ist. Zeitliche und räumliche Aufmerksamkeitsorientierung sollen zu unterschiedlicher Lateralisierung führen. Die linke Hemisphäre soll dabei in der Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf einen Zeitpunkt dominieren, während die rechte Hemisphäre bei der Orientierung der Aufmerksamkeit auf eine räumliche Position stärker aktiv sein soll.

Studien, welche den Einfluss zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung auf die Reizverarbeitung mittels der EKP-Technik untersuchten (z.B. Correa et al., 2006; Griffin et al., 2002; Lange et al., 2006; Lange et al., 2003; Miniussi et al., 1999; Sanders & Astheimer), lieferten widersprüchliche Befunde bezüglich der Komponenten, welche durch zeitliche Aufmerksamkeit moduliert werden und leiteten somit kontroverse Schlussfolgerungen darüber ab, welche Prozess-Stufen der Reizverarbeitung beeinflusst werden. Anlässlich der hier berichteten Studie wurden zunächst die Faktoren extrahiert, welche die Experimente unterschieden, deren Befunde lediglich eine Beeinflussung späterer Stufen der Reizverarbeitung – also Entscheidungs- oder Reaktionsvorbereitungsprozesse – nahelegten (z.B. Griffin et al., 2002; Miniussi et al., 1999) und den Experimenten,

deren Ergebnisse dafür sprechen, dass neben diesen späten Prozessen zusätzlich frühe, perzeptuelle Stufen der Reizverarbeitung dem Einfluss zeitlicher Aufmerksamkeit unterliegen (z.B. Lange et al, 2006; Lange et al., 2003; Sanders & Astheimer, 2008). Drei Faktoren wurden dabei gefunden: Die *Stimulus-Modalität* (visuell/auditiv), die *Art der Aufmerksamkeitsorientierung* (konstant für einen Block/für jedes Trial neu) und die *Aufgabenrelevanz unbeachteter Reize* (erfordern eine Reaktion/erfordern keine Reaktion). Anhand dieser Faktoren wurden unterschiedliche Erklärungsmodelle abgeleitet bezüglich des Einflusses dieser Faktoren auf die Ebene der Reizverarbeitung, die durch zeitliche Aufmerksamkeit moduliert wird. Eine Beeinflussung früher, sensorischer Komponenten im EKP, verbunden mit der Schlussfolgerung, dass frühe Prozesse, wie etwa die Wahrnehmung der Stimuli, durch zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung verbessert wurden, zeigte sich dann, wenn akustische Reize verwendet wurden und die Aufmerksamkeit konstant auf eines von zwei Intervallen für die Dauer eines gesamten Blocks orientiert werden konnte und darüber hinaus unbeachtete Reize keinerlei Relevanz für die Aufgabe besaßen – also nicht verarbeitet werden mussten, sondern von den Probanden vollständig ignoriert werden konnten (Lange et al., 2006; Lange & Röder, 2006; Lange et al., 2003; Röder et al., 2007, Sanders & Astheimer, 2008; Eine Übersicht bietet Lange & Röder, 2010).

Es wurde daher spekuliert, dass möglicherweise die Modalität den entscheidenden Faktor darstellt, eine Modulation früher, sensorischer Prozesse durch zeitliche Aufmerksamkeit also primär in der auditiven Modalität stattfindet (vergleiche auch Lange et al., 2003). Als eine andere mögliche Erklärung wurde außerdem spekuliert, dass eine konstante Orientierung der Aufmerksamkeit auf den Zeitpunkt am Ende eines der beiden Intervalle für das Auftreten früher Aufmerksamkeitseffekte entscheidend sei. In einer dritten möglichen Erklärung der widersprüchlichen Befunde wurde angenommen, dass zur Modulation früher Prozesse durch zeitliche Aufmerksamkeit eine stark selektive Fokussierung der Aufmerksamkeit auf den beachteten Zeitpunkt notwendig sei, unbeachtete Reize daher nicht relevant für die Aufgabe sein dürften, damit der nicht angekündigte Zeitpunkt auch tatsächlich nicht beachtet werden muss.

Es wurden zwei Experimente mit akustischen Stimuli durchgeführt. Experiment 1 diente der Untersuchung der Effekte zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung auf die Verarbeitung akustischer Reize in einem Paradigma, in dem die Aufmerksamkeit für jedes

Trial neu auf einen der beiden Zeitpunkte orientiert werden musste und in dem sowohl valide als auch invalide Reize einer Reaktion bedurften. In Experiment 2 wurde der Faktor *Aufgabenrelevanz unbeachteter Reize* manipuliert und somit untersucht, ob frühe Effekte zeitlicher Aufmerksamkeit in einem Paradigma auftreten, in dem die Aufmerksamkeit weiterhin für jedes Trial neu orientiert werden muss (Cueing), invalide (unbeachtete) Reize aber vollständig ignoriert werden können und die Fokussierung der Aufmerksamkeit somit stärker selektiv erfolgt.

4.2 Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse

Im Folgenden sollen die Befunde der beiden Experimente zusammenfassend dargestellt werden und deren Bedeutung für die Fragestellung der Studie abgeleitet werden.

4.2.1 Verhaltensdaten

In Experiment 1 zeigte sich für Reize, die am Ende des kurzen Intervalls erschienen, ein Verarbeitungsvorteil valider gegenüber invalider Targets in Gestalt kürzerer Reaktionszeiten für valide Targets. In bisherigen Studien, welche zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung in der auditiven Modalität untersuchten, konnten aufgrund des verwendeten Paradigmas keine Aussagen über den Einfluss auf Verhaltensdaten getroffen werden (Lange et al., 2006; Lange & Röder, 2006; Lange et al., 2003; Röder et al., 2007, Sanders & Astheimer, 2008; Eine Übersicht bietet Lange & Röder, 2010). Die hier berichteten Befunde stellen somit einen ersten Nachweis des Einflusses zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung auf Verhaltensdaten bei der Verarbeitung akustischer Reize dar. Der Befund schnellerer Reaktionen für Targets, welche valide angekündigt wurden, gegenüber Targets, die invalide angekündigt wurden, lässt darauf schließen, dass das hier verwendete Paradigma geeignet war, um eine Orientierung der Aufmerksamkeit auf das zu beachtende Intervall zu erreichen. Offenbar nutzten Versuchspersonen die Information des Cues, um eine Erwartung des Targets an dem entsprechenden Zeitpunkt auszurichten und somit besser reagieren zu können. Dem zweiten EEG-Experiment wurde ein reines Verhaltensexperiment vorgeschoben, um zu überprüfen, ob zeitliche Aufmerksamkeit auch in einem Go/No-Go-Paradigma zu einem Verarbeitungsvorteil

valide angekündigter Targets führt. Hierbei konnten die Ergebnisse des ersten Experimentes repliziert werden. Auch in dem Go/No-Go-Design reagierten Versuchspersonen schneller auf valide als auf invaliden Targets am Ende des kurzen Intervalls. Es kann also darauf geschlossen werden, dass auch in diesem Versuchsparadigma die Information des Cues genutzt wurde, um die Aufmerksamkeit auf den angekündigten Zeitpunkt zu orientieren. Der Aufmerksamkeitseffekt (Haupteffekt des Faktors *Validität* für das kurze Intervall) war für das erste Experiment, in dem eine Wahlreaktionsaufgabe verwendet wurde, etwas größer ($\eta^2 = .26$) als für das zweite Experiment mit der Go/No-Go-Aufgabe ($\eta^2 = .16$). Da die Schwierigkeit der Aufgabe bezüglich der Diskrimination der unterschiedlichen Stimulustypen in beiden Experimenten gleich war (Unterscheidung zwischen Targets mit und ohne Lücke), spricht diese Beobachtung dafür, dass der Verarbeitungsvorteil zeitlich beachteter gegenüber zeitlich unbeachteten Reizen zumindest teilweise auf eine Verbesserung des Reaktionsauswahlprozesses zurück zu führen ist.

Die Tatsache, dass ein Verarbeitungsvorteil valide angekündigter Reize in beiden Experimenten auf das kurze Intervall beschränkt war, Versuchspersonen also nur dann langsamer reagierten, wenn der Reiz früher als erwartet erschien (Bedingung: kurz-invalide), nicht aber, wenn der Reiz später als erwartet erschien (Bedingung: lang-invalide), stellt eine Replikation früherer Befunde zur visuellen zeitlichen Aufmerksamkeit dar (z.B. Coull & Nobre, 1998; Miniussi et al., 1999). Dieser Befund wurde damit erklärt, dass es im Falle invalide angekündigter Reize am Ende des langen Intervalls zu einer Neuorientierung der Aufmerksamkeit kommen soll: Wenn am Ende des kurzen Intervalls (anders als angekündigt) kein Reiz erscheint, orientieren Versuchspersonen ihre Aufmerksamkeit auf das Ende des langen Intervalls, da die Wahrscheinlichkeit hoch ist, dass dort nun ein (invalides) Targets erscheint (Coull & Nobre, 1998). Es konnte gezeigt werden, dass dieser Effekt dann verschwindet, wenn die Sicherheit bezüglich des Erscheinens eines Targets am Ende des langen Intervalls gesenkt wird, indem Catch Trials verwendet werden (Correa et al., 2006). Andere Studien fanden hingegen, wie auch in dem hier berichteten Experiment 1 und dem Verhaltensexperiment aus Experiment 2, ein Fortbestehen des Ausbleibens von Aufmerksamkeitseffekten in den Reaktionszeiten für das lange Intervall, auch unter der Verwendung von Catch Trials (z.B. Miniussi et al., 1999). Es erscheint nachvollziehbar, dass Versuchspersonen

auch in einem Paradigma mit Catch Trials ihre Aufmerksamkeit auf das Ende des langen Intervalls orientieren, wenn kein Reiz am Ende des kurzen Intervalls erscheint. Zum Zeitpunkt, an dem feststeht, dass kein Target am Ende des kurzen Intervalls erscheint, ist die konditionale Wahrscheinlichkeit, dass am Ende des langen Intervalls ein Target erscheint (es sich also um ein invalides Trial handelt), größer (67 % in Experiment 1; 85 % in Experiment 2) als die konditionale Wahrscheinlichkeit, dass es sich um ein Catch Trial handelt, in dem kein Reiz mehr erscheint (33 % in Experiment 1; 15 % in Experiment 2). Möglicherweise würde eine deutliche Erhöhung des Anteils von Catch Trials dazu führen, dass der Effekt der Neuorientierung von Aufmerksamkeit ausbleibt und somit ein Aufmerksamkeitseffekt auch für Reize am Ende des langen Intervalls zu beobachten wäre.

Es wurde keine Verbesserung der Genauigkeit der Reaktionen durch zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung beobachtet, weder in Experiment 1, noch in Experiment 2. Correa et al. (2005) hatten einen solchen Effekt berichtet. Eine verbesserte Genauigkeit der Reaktionen auf valide Reize wurde allerdings nicht konsistent berichtet (Correa et al., 2006; Griffin et al., 2002, Experiment 2). Unerwartet zeigte sich in Experiment 1 ein signifikanter Effekt des Faktors *Validität*, im Sinne geringerer Fehlerraten für invalide verglichen mit validen Targets des langen Intervalls. In Experiment 2 wurde dieser Befund hingegen nicht repliziert. Eine Interpretation dieses unerwarteten und nicht replizierten Befundes erscheint an dieser Stelle schwierig. Ein ähnlicher Befund wurde auch in früheren Studien zur zeitlichen Aufmerksamkeitsorientierung (z.B. Correa et al., 2006; Coull & Nobre, 1998; Miniussi et al., 1999) nicht berichtet.

4.2.2 EKP-Daten

Der Verarbeitungsvorteil, welcher anhand der schnelleren Reaktionen auf valide Targets nachgewiesen werden konnte, erbrachte unterschiedliche elektrophysiologische Korrelate zwischen den beiden Experimenten.

Eine Modulation im Zeitbereich der P300-Komponente konnte in beiden Experimenten nachgewiesen werden. Sowohl für das kurze als auch für das lange Intervall war die mittlere Amplitude im Zeitbereich der P300 für valide Reize größer als für invalide. Die N1-Komponente hingegen zeigte für das kurze Intervall im ersten Experiment keinerlei

Aufmerksamkeitseffekt, während im zweiten Experiment eine erhöhte mittlere N1-Amplitude für valide gegenüber invaliden Non-Targets beobachtet wurde. Für das lange Intervall zeigte sich in beiden Experimenten eine Umkehrung des typischen N1-Effektes (z.B. in Lange et al., 2006; Lange et al., 2003): Die EKP invalider Reize zeichneten sich durch eine größere (negativere) mittlere Amplitude im Zeitbereich der N1 aus als die EKP valider Reize. In beiden Experimenten ging dem EKP eine langsame Negativierung voraus, bei der es sich um eine CNV zu handeln scheint. Ein Aufmerksamkeitseffekt in der CNV konnte jedoch nur im zweiten Experiment beobachtet werden.

4.2.2.1 N1

Das Ausbleiben eines Aufmerksamkeitseffektes der N1-Komponente in Experiment 1 kann dahingehend interpretiert werden, dass es nicht zu einer Beeinflussung früher, sensorischer Prozesse gekommen ist – anders als in den vorausgegangenen Studien zur auditiven zeitlichen Aufmerksamkeit (z.B. Lange et al., 2006; Lange et al., 2003). Die Befunde des ersten Experimentes entsprechen somit den Ergebnissen früherer Studien, die zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung mit dem Cueing-Paradigma in der visuellen Modalität untersuchten (eine Übersicht bietet Correa et al., 2006). Es lässt sich also festhalten, dass in einem Paradigma, in dem die Aufmerksamkeit für jedes Trial neu orientiert werden muss und in dem unbeachtete Reize eine Reaktion erfordern und somit relevant für die Aufgabe sind, keine Modulation früher Prozesse akustischer Reizverarbeitung zu beobachten ist, ähnlich wie es für die Verarbeitung visueller Reize beschrieben wurde (z.B. Griffin et al., 2002, Experiment 2; Miniussi et al., 1999). Die Vermutung, die zuvor berichteten widersprüchlichen Befunde bezüglich der Frage, ob frühe Prozess-Stufen durch zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung moduliert werden können, ließen sich auf einen Unterschied bezüglich der Stimulus-Modalitäten zurück führen, in der Form, dass in der auditiven Modalität die Reizwahrnehmung durch zeitliche Aufmerksamkeit verbessert wird und dies für die Verarbeitung visueller Reize nicht zutrifft (vergleiche Lange et al., 2003), erscheint anhand dieser Daten wenig plausibel. Auch wenn keine kausale Schlussfolgerung bezüglich des Einflusses des Faktors Stimulus-Modalität gezogen werden kann, stellen die Ergebnisse von Experiment 1 zumindest

einen Hinweis darauf dar, dass zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung nicht obligatorisch zu einer verbesserten Wahrnehmung akustischer Reize führt.

In Experiment 2 konnte hingegen der N1-Aufmerksamkeitseffekt, welcher in Vorgängerstudien berichtet worden war (Lange et al., 2006; Lange & Röder, 2006; Lange et al., 2003; Röder et al., 2007, Sanders & Astheimer, 2008), für Non-Targets nach dem kurzen Intervall repliziert werden, in einem Paradigma, in dem die Aufmerksamkeit für jedes Trial neu orientiert werden musste und invalide (unbeachtete) Reize keine Relevanz für die Aufgabe besaßen. Es ist also zu einer Modulation der N1-Komponente durch selektive zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung gekommen.

Eine exakte Interpretation der zugrunde liegenden Mechanismen dieses frühen Aufmerksamkeitseffekts lässt sich jedoch an dieser Stelle nicht ableiten. Für einen Aufmerksamkeitseffekt im Zeitbereich der N1-Komponente gibt es im Bereich der räumlichen auditiven Aufmerksamkeitsorientierung zwei dominierende Interpretationen (eine Übersicht bietet Näätänen & Alho, 2004), welche sich hinsichtlich der Frage unterscheiden, ob sich die frühen Verarbeitungsprozesse zwischen beachteten und unbeachteten Reize qualitativ (z.B. Näätänen, 1982) oder quantitativ (z.B. Hillyard et al., 1973) unterscheiden. Hillyard und Kollegen gehen davon aus, dass ein Filter- oder Verstärker-Mechanismus (*gain control*) die Amplitudenmodulation der N1 bewirkt (Hillyard, 1981; Hillyard et al., 1973; Woldorff & Hillyard, 1991). Näätänen (z.B. Näätänen, 1982) vermutete hingegen, dass es sich bei der erhöhten N1-Amplitude in Wirklichkeit um eine Überlagerung durch eine endogene Negativierung (*processing negativity*) handelt, welche die zusätzliche Verarbeitung von Reizen widerspiegeln soll, die das beachtete Merkmal aufweisen (siehe auch Näätänen et al., 1978). Bei der Negativierung, welche durch räumliche Aufmerksamkeitsorientierung zustande kommt, handelt es sich um einen lang andauernden Effekt, bei dem der frühe Teil tatsächlich die auditorische N1 überlagern kann (z.B. Hansen & Hillyard, 1980; Näätänen et al., 1978). In den vorausgegangen Studien zur zeitlichen Aufmerksamkeitsorientierung in der auditiven Modalität (z.B. Lange et al., 2006; Lange et al., 2003; Sanders & Astheimer, 2008) war die stärkere Negativierung allerdings auf den Zeitbereich der N1 beschränkt. Dies spricht somit eher für die Interpretation eines Filter-/Verstärker-Mechanismus. Die größere Negativierung, welche in Experiment 2 beobachtet wurde, zeichnete sich allerdings schon durch einen früheren Beginn vor der eigentlichen N1-Komponente aus. Somit

erscheint es weniger wahrscheinlich, dass es sich hierbei um eine spezifische Modulation der auditorischen N1-Komponente handelt. Vielmehr scheint es sich bei dem hier beobachteten Effekt um eine frühe und kurz andauernde *processing negativity* zu handeln. Die kürzere Dauer (verglichen mit der Negativierung selektiver räumlicher Aufmerksamkeit (z.B. Hansen & Hillyard, 1980; Schröger & Eimer, 1997)) lässt sich möglicherweise damit erklären, dass bei der Beachtung eines bestimmten Zeitpunktes (am Ende eines Intervalls), die Verarbeitung der relevanten Information (Länge des Zeitintervalls) über die Dauer des Intervalls kumuliert. Das Erscheinen des Reizes beendet somit diesen (Zeit-)Verarbeitungsprozess, während im Falle der Beachtung einer räumlichen Position (selektive räumliche Aufmerksamkeit) die Informationsverarbeitung erst mit dem Erscheinen des Reizes beginnen kann.

Wenn nun der frühe Aufmerksamkeitseffekt, welcher in Experiment 2 beobachtet wurde, auch keine Vergrößerung der N1-Komponente widerspiegelt, so lässt sich dennoch festhalten, dass zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung in einem Paradigma, in dem die Aufmerksamkeit für jedes Trial neu orientiert werden muss, eine Modulation zu einem frühen Zeitpunkt der Reizverarbeitung bewirkt, wenn die Orientierung selektiv auf einen Zeitpunkt (am Ende eines Zeitintervalls) erfolgt. Während die Frage danach, welche frühen Prozesse konkret und in welcher Art und Weise von zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung verbessert werden, Gegenstand zukünftiger Forschung bleibt, kann an dieser Stelle abgeleitet werden, unter welchen Bedingungen eine frühe Modulation innerhalb der Verarbeitung akustischer Reize durch zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung auftritt: Anhand der Befunde von Experiment 1 konnte zunächst gezeigt werden, dass frühe Effekte zeitlicher Aufmerksamkeit nicht obligatorisch bei der Verarbeitung akustischer Reize auftreten: Wenn die Aufmerksamkeit für jedes Trial neu orientiert werden muss und invalide (unbeachtete) Reize ebenfalls eine Verarbeitung erfordern, werden ausschließlich spätere Prozess-Stufen beeinflusst, die vermutlich mit der Auswahl oder Vorbereitung der Reaktion zusammenhängen. In Experiment 2 musste die Aufmerksamkeit weiterhin für jedes Trial neu orientiert werden, invalide Reize erforderten nun aber keine Verarbeitung mehr, sie konnten vollständig ignoriert werden. Das Auftreten eines frühen Aufmerksamkeitseffektes in Experiment 2 spricht also dafür, dass der Faktor *Aufgabenrelevanz der unbeachteten Reize* (mit-)verantwortlich für das Auftreten früher Effekte zeitlicher Aufmerksamkeit ist – zumindest bei der Verarbei-

tung akustischer Reize. Frühe Effekte zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung zeigen sich demnach dann, wenn eine stark selektive Orientierung der Aufmerksamkeit möglich ist, „unbeachtete“ Reize also tatsächlich nicht beachtet werden müssen. Die Tatsache, dass die Aufmerksamkeit konstant für einen Block auf einen Zeitpunkt (am Ende eines Zeitintervalls) orientiert sein muss, scheint zumindest keine notwendige Voraussetzung für das Auftreten früher Aufmerksamkeitseffekte zu sein.

Eine mögliche Erklärung dafür, dass sich solche frühen Effekte nicht zeigen, wenn auch invalide/unbeachtete Reize verarbeitet werden müssen, liegt darin, dass unter dieser Bedingung der Unterschied des Ausmaßes an Aufmerksamkeit zwischen den Bedingungen *beachtet* und *unbeachtet* zu gering ist und somit eher ein paralleles Beachten beider Zeitpunkte anstatt einer selektiven Zuwendung von Aufmerksamkeit auf einen der beiden Zeitpunkte stattfindet. In der Forschung zur räumlichen Aufmerksamkeitsorientierung gibt es entsprechende Hinweise darauf, dass eine Beeinflussung früher Prozesse durch Aufmerksamkeit nur dann auftritt, wenn es eine starke Fokussierung der Aufmerksamkeit auf einen Ort gibt und nicht, wenn die Aufmerksamkeit zwischen der angekündigten und der anderen räumlichen Position aufgeteilt werden muss (Eimer, 1994, 1996; Schröger & Eimer, 1997). Es lässt sich somit spekulieren, dass je stärker selektiv die Aufmerksamkeitszuwendung erfolgt, desto früher innerhalb der Reizverarbeitung eine Modulation stattfindet.

Ein Einfluss des Faktors *Art der Aufmerksamkeitsorientierung* auf das Auftreten früher Effekte zeitlicher Aufmerksamkeit lässt sich ebenfalls nicht ausschließen. Es konnte gezeigt werden, dass mit einer konstanten Orientierung der Aufmerksamkeit auf ein Intervall für die Dauer eines gesamten Blocks sogar unter Verwendung der Cueing-Aufgabe frühe Aufmerksamkeitseffekte der visuellen Verarbeitung gefunden werden konnten (Correa et al., 2006). Möglicherweise erleichtert ein konstanter Aufmerksamkeitsfokus eine präzise Repräsentation des zu beachtenden Zeitintervalls und verbessert dadurch die Unterscheidbarkeit zwischen dem beachteten und dem unbeachteten Intervall. Inwiefern diese beiden Faktoren interagieren, ist noch zu untersuchen. Die Befunde von Experiment 2 sprechen allerdings dagegen, dass eine solche konstante Aufmerksamkeitsfokussierung notwendig ist für das Auftreten früher Effekte zeitlicher Aufmerksamkeit in der auditiven Modalität.

Es kann darüber hinaus nicht ausgeschlossen werden, dass die erhöhte räumliche Unsicherheit in Experiment 2, welche durch die randomisiert wechselnde Präsentation des (Non-)Targets auf jeweils einem Ohr zustande kam, ebenfalls einen Einfluss auf die unterschiedlichen Befunde der beiden Experimente ausgeübt hat. Dass ein Mangel an räumlicher Unsicherheit in Experiment 1 allerdings zum Ausbleiben früher Aufmerksamkeitseffekte geführt haben soll, erscheint wenig plausibel. So konnten beispielsweise Correa et al. (2006) frühe Effekte zeitlicher Aufmerksamkeitsorientierung bei fovealer Präsentation visueller Reize zeigen (vergleiche auch Miniussi, Rao, & Nobre, 2002). Während der frühe Aufmerksamkeitseffekt im Zeitbereich der N1 für das kurze Intervall in Experiment 2 also konsistent mit den Befunden früherer Studien zur zeitlichen Aufmerksamkeitsorientierung in der auditiven Modalität ist (eine Übersicht bietet Lange & Röder, 2010), ist der Befund einer geringeren Negativierung für valide gegenüber invaliden Reizen im Zeitbereich der N1 für (Non-)Targets, die am Ende des langen Intervalls erscheinen (in Experiment 1 und 2), unerwartet. Diese Umkehrung des typischen frühen Aufmerksamkeitseffektes wurde in den Vorgängerstudien nicht berichtet. Interpretationen dieses Befunds bleiben daher sehr spekulativ. In einer Studie von Lange (2009) konnte gezeigt werden, dass in einem Paradigma, in welchem zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung anhand einer regelmäßigen/geordneten Sequenz von Tönen (verglichen mit einer unregelmäßigen/ungeordneten Sequenz) erfolgte, es zu einer verkleinerten N1-Amplitude kam, wenn eine Sicherheit bezüglich des Zeitpunktes des Target-Tons gegeben war. War in dem gleichen Paradigma die Sicherheit bezüglich des Target-Zeitpunktes nicht gegeben, zeigte sich eine vergrößerte (anstatt einer verkleinerten) N1-Amplitude (Lange, 2010). Diese Befunde deuten darauf hin, dass eine Reduktion der N1 mit zeitlicher Sicherheit/Vorhersagbarkeit zusammenhängt (siehe auch Clementz, Barber, & Dzau, 2002; Lange, 2009; Rothman, Davis, & Hay, 1970; Schafer, Amochaev, & Russell, 1981). In den Experimenten der hier vorliegenden Arbeit war die Sicherheit/Vorhersagbarkeit für das Erscheinen eines Targets am Ende des langen Intervalls sehr hoch, da die konditionale Wahrscheinlichkeit mit dem Verlauf der Zeit zunahm. Am Ende des kurzen Intervalls war hingegen die Sicherheit, dass ein Reiz erscheinen würde vergleichsweise gering – die Probanden konnten nicht sicher wissen, ob ein Reiz erscheinen würde. Da die konditionale Wahrscheinlichkeit unabhängig davon ist, welches Intervall durch den Cue angekündigt wurde, kann die größere konditionale

Wahrscheinlichkeit alleine nicht den Unterschied einer kleineren N1-Amplitude für valide angekündigte gegenüber invalide angekündigten Reizen am Ende des langen Intervalls erklären. Darüber hinaus berichteten vorherige Studien zur auditiven zeitlichen Aufmerksamkeitsorientierung eine größere (anstatt kleinere) N1-Amplitude für Reize, die nach einem langen Intervall erschienen, obwohl die Probanden wussten, dass ein Reiz erscheinen würde (Lange et al., 2006; Lange et al., 2003; Sanders & Astheimer, 2008). Bei diesen Studien war bei jedem Trial die Wahrscheinlichkeit für das Erscheinen eines beachteten und eines unbeachteten Intervalls gleich groß, anders als in den hier berichteten Experimenten, bei denen die Wahrscheinlichkeit für das Erscheinen eines Reizes am Ende eines langen Intervalls dann größer war, wenn der Cue ein langes Intervall angekündigt hatte, als wenn der Cue ein kurzes Intervall angekündigt hatte. Somit ergibt sich eine insgesamt größere Vorhersagbarkeit valider Reize am Ende des langen Intervalls, welche sich in der verkleinerten N1-Amplitude widerspiegeln könnte, wenngleich sich diese größere Sicherheit nicht in schnelleren Reaktionszeiten wiederfindet.

Es scheinen zwei unterschiedliche Prozesse in den Studien zur zeitlichen Aufmerksamkeitsorientierung zu wirken, die einen entgegengesetzten Einfluss auf die N1-Komponente haben: Während zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung zu einer Vergrößerung der N1-Amplitude zu führen scheint, bewirkt zeitliche Vorhersagbarkeit/Sicherheit eine Reduktion der N1. Die Auswirkungen dieser beiden Prozesse unterscheiden sich vermutlich abhängig vom verwendeten Paradigma. Bei geringerer Sicherheit bezüglich des Erscheinens eines Reizes wird die zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung eher zu einer Erhöhung der N1 führen, mit zunehmender Sicherheit wird hingegen der reduzierende Einfluss der N1 dominieren.

4.2.2.2 P300

Die stärkere Positivierung im Zeitbereich der P300 muss für die beiden Experimente unterschiedlich interpretiert werden. Die Befunde von Experiment 1 stellen eine Replikation der Ergebnisse vorheriger Studien zur zeitlichen Aufmerksamkeitsorientierung dar (Griffin et al., 2002; Lange et al., 2003; Miniussi et al., 1999). Eine erhöhte P300-Amplitude für valide gegenüber invaliden Reizen wurde als Nachweis dafür interpre-

tiert, dass eine Beeinflussung später Prozess-Stufen, die mit Reaktionsauswahl oder Reaktionsvorbereitung zusammenhängen, durch zeitliche Aufmerksamkeit stattgefunden hat (eine Übersicht bietet z.B. Nobre, 2001). In ähnlicher Weise wurden auch Effekte räumlicher Aufmerksamkeit auf die P300 interpretiert (z.B. Hillyard et al., 1973). Anders als in früheren Studien zur zeitlichen Aufmerksamkeitsorientierung, wurde in beiden Experimenten eine Modulation der P300 durch Aufmerksamkeit sowohl für das kurze als auch für das lange Intervall gefunden. In den Studien mit der visuellen Cueing-Aufgabe wurde ein P300-Aufmerksamkeitseffekt lediglich für das kurze Intervall berichtet, entsprechend des Effekts für die Verhaltensdaten. Die Tatsache, dass in der hier berichteten Studie auch im langen Intervall eine Modulation der P300 auftrat, der Verhaltenseffekt aber – wie auch in den Studien zum visuellen zeitlichen Cueing – auf das kurze Intervall beschränkt war, erschwert die Interpretation des P300-Effektes als elektrophysiologisches Korrelat des Reaktionszeit-Effektes. Der genaue Zusammenhang dieser beiden Effekte bleibt damit Gegenstand zukünftiger Forschung.

Der in Experiment 2 beobachtete Effekt größerer P300-Amplituden für valide gegenüber invaliden Non-Targets nach dem langen und dem kurzen Intervall kann nicht als Abbild verbesserter Reaktionsauswahl oder Reaktionsvorbereitungsprozesse interpretiert werden, da auf die Non-Targets des zweiten Experimentes nicht reagiert wurde. Dieser Effekt lässt sich vermutlich als das Korrelat einer Reaktionsinhibition interpretieren. Übereinstimmend damit konnte gezeigt werden, dass die Amplitude der P300 auf No-Go-Reize vom Ausmaß der vorausgegangen Vorbereitung einer Reaktion abhängt: Je stärker eine Reaktion vorbereitet wurde, desto mehr Inhibition war erforderlich um die Reaktion zurückzuhalten, wenn ein No-Go-Reiz präsentiert wurde (Bruin et al., 2001, Smith et al., 2007). Es erscheint also nachvollziehbar, dass eine stärkere Reaktionsvorbereitung im Falle valider Non-Targets stattfand, da auf valide Reize potenziell reagiert werden musste: Erschien ein Reiz am Ende des angekündigten Intervalls, musste eine Go-/No-Go-Entscheidung bezüglich einer Reaktion getroffen werden: Reize mit Lücke (Targets) erforderten eine Reaktion, auf Reize ohne Lücke (Non-Targets) sollte nicht reagiert werden. Somit war ein stärkeres Maß an Inhibition für valide (gegenüber invaliden) Non-Targets notwendig, um eine Reaktion zu unterdrücken, was sich in einer erhöhten P300-Amplitude widerzuspiegeln scheint.

4.2.2.3 CNV

Beide Experimente zeigten eine langsame Negativierung zwischen Cue und Target, welche als CNV interpretiert werden kann und somit vermutlich den Prozess der Aufmerksamkeitszuwendung widerspiegelt. Allerdings unterlag die CNV nur in Experiment 2 dem Einfluss zeitlicher Aufmerksamkeit (Faktor *Validität*). Der Befund schnellerer Reaktionen auf valide gegenüber invaliden Targets spricht dennoch dafür, dass eine Aufmerksamkeitsorientierung auf den Cue hin auch in Experiment 1 stattgefunden hat. Ein topographischer Vergleich konnte zeigen, dass der in Experiment 2 beobachtete Aufmerksamkeitseffekt im Zeitbereich der N1 nicht ausschließlich eine Fortführung dieses Effektes darstellt. Gegen eine solche Überlagerung spricht auch die hier verwendete konservative Baseline (0-50 ms) innerhalb der EKP.

4.3 Einordnung in den Kontext selektiver Aufmerksamkeit und Ausblick

Zusammenfassend lassen die Befunde der hier vorgestellten Studien folgende Schlussfolgerungen zu: Zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung führt zu einem Verarbeitungsvorteil beachteter gegenüber unbeachteter akustischer Reize, die sich in schnelleren Reaktionen auf beachtete gegenüber unbeachteten Reizen, die nach dem kurzen Intervall erscheinen, ausdrückt – ähnlich, wie es auch für die Verarbeitung visueller Reize berichtet wurde. Dieser Verarbeitungsvorteil scheint auf einer Verbesserung später Prozess-Stufen zu basieren, vermutlich auf der Ebene der Reaktionsauswahl der -vorbereitung. Eine zusätzliche Beeinflussung früher Prozess-Stufen der akustischen Reizverarbeitung findet dann statt, wenn die Orientierung der Aufmerksamkeit sehr selektiv erfolgt, unbeachtete Reize also tatsächlich ignoriert werden können. Erfolgt die Orientierung weniger selektiv, kann also die Aufmerksamkeit nicht rein auf den zu beachtenden Reize orientiert werden, sondern muss zwischen beachteten und unbeachteten Reizen aufgeteilt werden, kommt es nicht zu einer Modulation früher Prozesse.

Bezogen auf die eingangs gestellte Frage danach, welche Prozess-Stufen akustischer Reizverarbeitung durch zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung beeinflusst werden, lässt sich also feststellen, dass dies von der Selektivität der Aufmerksamkeitsorientierung

abzuhängen scheint. Wenn der Fokus eng ist, die Aufmerksamkeit also sehr selektiv einem bestimmten Zeitpunkt zugewendet wird, scheinen auch frühe Prozess-Stufen der akustischen Reizverarbeitung von zeitlicher Aufmerksamkeit moduliert zu werden. Dies könnte der Idee einer frühen Selektion (vergleiche Broadbent, 1966) oder Dämpfung (vergleiche Treisman, 1960) irrelevanter Reize entsprechen. Ist der Fokus hingegen weiter, die Aufmerksamkeitszuwendung daher weniger selektiv, da noch andere Reize verarbeitet werden müssen, wenn man also davon sprechen kann, dass Aufmerksamkeit aufgeteilt wird zwischen zwei verschiedenen Zeitpunkten, scheinen nur späte Prozess-Stufen der Verarbeitung akustischer Reize beeinflusst zu werden. Dies würde dann eher der Idee einer späten Selektion (vergleiche Deutsch & Deutsch, 1963) oder einer geringeren Dämpfung der *unbeachteten* Reize entsprechen. Geht man davon aus, dass beide Zeitpunkte beachtet werden müssen, wenn invalide Reize eine Reaktion erfordern, ließe sich in diesem Fall von „geteilter zeitlicher Aufmerksamkeit“ sprechen. Nimmt man nun diese Unterscheidung zwischen „selektiver zeitlicher Aufmerksamkeit“, bei der unbeachtete Reize nicht verarbeitet werden müssen, sondern ignoriert werden können (vergleiche Experiment 2 sowie Lange et al., 2003; Lange et al., 2006; Sanders & Asheimer, 2008) und „geteilter zeitlicher Aufmerksamkeit“, bei der sowohl beachtete als auch unbeachtete Reize eine Verarbeitung (und Reaktion) erfordern an, legen die hier vorliegenden Ergebnisse in Übereinstimmung mit den Befunden aus Vorgängerstudien zur zeitlichen Aufmerksamkeit (z.B. Griffin et al., 2002; Miniussi et al., 1999) nahe, dass geteilte zeitliche Aufmerksamkeit lediglich späte Prozess-Stufen der Reizverarbeitung beeinflusst, die mit der Reaktion assoziiert sind, während selektive zeitliche Aufmerksamkeit zusätzlich frühe (mit dem Reiz assoziierte) Prozesse beeinflusst.

Offen bleibt die Frage, inwieweit die hier berichteten Befunde sich auch auf die Verarbeitung visueller Reize übertragen lassen. Würde unter den gleichen Voraussetzungen wie in Experiment 2, also eines für jedes Trial neu orientierten Aufmerksamkeits-Fokus bei nicht verhaltensrelevanten unbeachteten Reizen, auch unter der Verwendung visueller Stimuli ein früher Aufmerksamkeitseffekt auftreten?

Auch der Zusammenhang zwischen EKP- und Verhaltensdaten ist weiterhin nicht befriedigend geklärt. Es gibt Hinweise darauf, dass die P300-Modulation als Korrelat des Verhaltenseffekts zu verstehen ist. Die Tatsache, dass in Experiment 1 aber bei Abwesenheit eines Verhaltenseffektes für das lange Intervall dennoch ein signifikanter Unter-

schied in der P300-Amplitude valider und invalider Reize für das lange Intervall beobachtet wurde, spricht gegen diese Vermutung.

Ebenso sollte das Zusammenwirken der beiden Faktoren *Art der Orientierung des Aufmerksamkeitsfokus* und *Aufgabenrelevanz der unbeachteten Reize* untersucht werden. Experiment 2 der vorliegenden Studie konnte zeigen, dass eine selektive Orientierung der Aufmerksamkeit aufgrund der Tatsache, dass auf invalide Reize nicht reagiert werden muss und diese somit nicht verarbeitet werden müssen, ausreichend ist, um frühe Aufmerksamkeitseffekte in der Verarbeitung akustischer Reize zu bewirken. Für die Verarbeitung visueller Reize ist hingegen gezeigt worden, dass allein eine konstante Orientierung der Aufmerksamkeit auf ein Zeitintervall für die Dauer eines Blocks ausreichend ist um eine Modulation früher Prozesse zu erreichen (Correa et al., 2006). Offen bleibt die Frage, ob die beiden Faktoren interagieren oder bei kombinierter Anwendung additiv wirken.

Schließlich bleibt die Frage nach der Natur des frühen Aufmerksamkeitseffektes ungeklärt. Wie oben beschrieben, ist es zweifelhaft, dass es sich bei dem in Experiment 2 beschriebenen Aufmerksamkeitseffekt im Zeitbereich der N1 tatsächlich um eine Modulation der auditiven N1 selbst handelt. Auch wenn das der Fall wäre, bliebe die Frage offen, welche dahinter stehenden Prozesse genau durch zeitliche Aufmerksamkeit beeinflusst werden, also auf welche Art sich der frühe Teil des Verarbeitungsprozesses für Reize unterscheidet, die eine durch zeitliche Aufmerksamkeit erhöhte N1 hervorrufen.

Der umgekehrte N1-Effekt für das lange Intervall, in Form geringerer Negativierung für valide gegenüber invaliden Reizen, wird als Hinweis darauf interpretiert, dass zeitliche Sicherheit/Vorhersagbarkeit zu einer Abschwächung der akustisch evozierten N1 führt, während selektive zeitliche Aufmerksamkeitsorientierung zu einer Erhöhung der akustischen N1 führt. Weitere Forschung in diesem Bereich könnte nähere Informationen darüber erbringen, wann welcher Einfluss auf die N1 dominiert.

5 Literaturverzeichnis

Birbaumer, N., Elbert, T., Canavan, A. G. M., & Rockstroh, B. (1990). Slow potentials of the cerebral cortex and behaviour. *Physiological Reviews*, *70*, 1-41.

Brawn, P., & Snowden, R. J. (1999). Can one pay attention to a particular color? *Perception & Psychophysics*, *61*(5), 860-873.

Broadbent, D. E. (1954). The role of auditory localization in attention and memory span. *Journal of Experimental Psychology*, *47*(3), 191-196.

Broadbent, D. E. (1966). *Perception & Communication*. Oxford: Pergamon Press.

Broadbent, D.E. (1970). Stimulus set and response set: Two kinds of selective attention. In D.E. Mostofsky (Ed.), *Attention: Contemporary theories and analysis*. New York: Appleton-Century-Crofts.

Broadbent, D. E. (1982). Task combination and selective intake of information. *Acta Psychologica*, *50*, 255-290.

Bruin, K. J., Wijers, A. A., & van Staveren, A. S. (2001). Response priming in a go/nogo task: do we have to explain the go/nogo N2 effect in terms of response activation instead of inhibition? *Clinical neurophysiology : official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, *112*(9), 1660-1671.

Cherry, E. C. (1953). Some Experiments on the Recognition of Speech, with One and with Two Ears. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *25*, 975-979.

Clementz, B. A., Barber, S. K., & Dzau, J. R. (2002). Knowledge of stimulus repetition affects the magnitude and spatial distribution of low-frequency event-related brain potentials. *Audiology and Neuro-Otology*, *7*, 303-314.

Coles, M. G. H., & Rugg, M. D. (1995). Event-related brain potentials: an introduction. In M. D. Rugg & M. G. H. Coles (Eds.), *Electrophysiology of Mind. Event-Related Brain Potentials and Cognition* (pp. 1-26). Oxford: Oxford University Press.

Correa, A., Lupiáñez, J., Madrid, E., & Tudela, P. (2006). Temporal attention enhances early visual processing: A review and new evidence from event-related potentials. *Brain Research*, *1076*, 116-128.

- Correa, A., Lupiáñez, J., Milliken, B., & Tudela, P. (2004). Endogenous temporal orienting of attention in detection and discrimination tasks. *Perception & Psychophysics*, *66*, 264-278.
- Correa, A., Lupiáñez, J., & Tudela, P. (2005). Attentional preparation based on temporal expectancies modulates processing at the perceptual level. *Psychonomic Bulletin & Review*, *12*, 328-334.
- Correa, A., & Nobre, A. C. (2008). Neural modulation by regularity and passage of time. *Journal of Neurophysiology*, *100*(3), 1649-1655.
- Coull, J. T., & Nobre, A. C. (1998). Where and When to Pay Attention: The Neural Systems for Directing Attention to Spatial Locations and to Time Intervals as Revealed by Both PET and fMRI. *The Journal of Neuroscience*, *18*, 7426-7435.
- Deutsch, J. A., & Deutsch, D. (1963). Attention: Some Theoretical Considerations. *Psychological Review*, *70*, 80-90.
- Doherty, J. R., Rao, A., Mesulam, M., & Nobre, A. (2005). Synergistic Effect of Combined Temporal and Spatial Expectations on Visual Attention. *Journal of Neuroscience*, *25*(36), 8259-8266.
- Donald, M. W., & Little, R. (1981). The analysis of stimulus probability inside and outside the focus of attention, as reflected by the auditory N1 and P3 components. *Canadian Journal of Psychology-Revue Canadienne De Psychologie*, *35*, 175-187.
- Donchin, E., & Cohen, L. (1967). Averaged Evoked Potentials and Intramodality selective Attention. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *22*, 537-546.
- Eason, R. G. (1981). Visual evoked potential correlates of early neural filtering during selective attention. *Bulletin of the Psychonomic Society*, *18*, 203-206.
- Eimer, M. (1994). "Sensory gating" as a mechanism for visuospatial orienting: Electrophysiological evidence from trial-by-trial cuing experiments. *Perception & Psychophysics*, *55*, 667-675.
- Eimer, M. (1996). ERP modulation indicate the selective processing of visual stimuli as a result of transient and sustained spatial attention. *Psychophysiology*, *33*, 13-21.
- Eimer, M. (1998). Mechanisms of Visuospatial Attention: Evidence from Event-related Brain Potentials. *Visual Cognition*, *5*, 257-286.

- Elbert, T., Ulrich, R., Rockstroh, B., & Lutzenberger, W. (1991). The Processing of Temporal Intervals Reflected by CNV-Like Brain Potentials. *Psychophysiology*, 28, 648-655.
- Eriksen, C. W., & Murphy, T. D. (1987). Movement of attentional focus across the visual field: a critical look at the evidence. *Perception & Psychophysics*, 42(3), 299-305.
- Eriksen, C. W., & St James, J. D. (1986). Visual attention within and around the field of focal attention: a zoom lens model. *Perception & Psychophysics*, 40(4), 225-240.
- Folk, C. L., Remington, R. W., & Johnston, J. C. (1992). Involuntary covert orienting is contingent on attentional control settings. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18(4), 1030-1044.
- Giard, M. H., Perrin, F., Pernier, J., & Peronnet, F. (1988). Several attention-related wave forms in auditory areas: a topographic study. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 69, 371-384.
- Gratton, G., Coles, M. G. H., & Donchin, E. (1983). A New Method for Off-Line Removal of Ocular Artifact. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 55(4), 468-484.
- Griffin, I. C., Miniussi, C., & Nobre, A. C. (2001). Orienting Attention in Time. *Frontiers in Bioscience*, 6, 660-671.
- Griffin, I. C., Miniussi, C., & Nobre, A. C. (2002). Multiple mechanisms of selective attention: differential modulation of stimulus processing by attention to space or time. *Neuropsychologia*, 40, 2325-2340.
- Grondin, S., Meilleur-Wells, G., Ouellette, C., & Macar, F. (1998). Sensory effects on judgements of short time-intervals. *Psychological Research*, 61, 261-268.
- Grondin, S., & Rousseau, R. (1991). Judging the relative duration of multimodal short empty time intervals. *Perception & Psychophysics*, 49, 245-256.
- Hansen, J. C., & Hillyard, S. A. (1980). Endogenous brain potentials associated with selective auditory attention. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 49, 277-290.
- Hillyard, S. A. (1981). Selective Auditory Attention and Early Event-Related Potentials - a Rejoinder. *Canadian Journal of Psychology-Revue Canadienne De Psychologie*, 35(2), 159-174.

- Hillyard, S. A., Hink, R., Schwent, V. L., & Picton, T. (1973). Electrical signs of selective attention in the human brain. *Science*, *162*, 177-180.
- Huynh, H., & Feldt, L. S. (1976). Estimation of the box correction for degrees of freedom from sample data in randomized block and splitsplot designs. *Journal of Educational Statistics*, *1*, 69-82.
- Ivry, R. B., & Spencer, R. M. (2004). The neural representation of time. *Current Opinion in Neurobiology*, *14*, 225-232.
- James, W. (1890). *The principles of psychology*. New York: Dover Publications.
- Jonides, J. (1981). Voluntary versus Automatic Control over the Mind's Eye's Movement. In J. Long & A. Baddeley (Eds.), *Attention and Performance IX* (pp. 187-203). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- LaBerge, D. (1983). Spatial extent of attention to letters and words. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *9*(3), 371-379.
- Lange, K. (2009). Brain correlates of early auditory processing are attenuated by expectations for time and pitch. *Brain and Cognition*, *69*, 127-137.
- Lange, K. (2010). Can a regular context induce temporal orienting to a target sound? *International Journal of Psychophysiology*, *78*, 231-238.
- Lange, K., Krämer, U. M., & Röder, B. (2006). Attending points in time and space. *Experimental Brain Research*, *173*(1), 130-140.
- Lange, K., & Röder, B. (2006). Orienting attention to points in time improves stimulus processing both within and across modalities. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *18*(5), 715-729.
- Lange, K., & Röder, B. (2010). Temporal orienting in audition, touch, and across modalities. In A. C. Nobre & J. T. Coull (Eds.), *Attention and Time* (pp. 393-405). Oxford: Oxford University Press.
- Lange, K., Rösler, F., & Röder, B. (2003). Early processing stages are modulated when auditory stimuli are presented at an attended moment in time: An Event-related potential study. *Psychophysiology*, *40*, 806-817.
- Lavie, N. (1995). Perceptual load as a necessary condition for selective attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *21*(3), 451-468.

- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (2000). The Operation of Selective Attention at Multiple Stages of Processing: Evidence from Human and Monkey Electrophysiology. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The New Cognitive Neuroscience* (2nd ed., pp. 687-700). Cambridge: MIT Press.
- Macar, F., & Besson, M. (1985). Contingent negative variation in processes of expectancy, motor preparation and time estimation. *Biological Psychology*, *21*, 293-307.
- Mangun, G. R. (1995). Neural mechanisms of visual selective attention. *Psychophysiology*, *32*, 4-18.
- McAdam, D. W. (1967). Development of the contingent negative variation during the learning of a temporal interval. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *23*, 491-494.
- McCarthy, G., & Wood, C. C. (1985). Scalp distributions of event-related potentials: an ambiguity associated with analysis of variance models. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *62*, 203-208.
- 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.
- Miniussi, C., Wilding, E. L., Coull, J. T., & Nobre, A. C. (1999). Orienting attention in time. Modulation of brain potentials. *Brain*, *122*, 1507-1518.
- Moray, N. (1959). Attention in dichotic listening: Affective cues and the influence of instructions. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *11*, 56-60.
- Müller, H. J., & Rabbitt, P. M. (1989). Reflexive and voluntary orienting of visual attention: time course of activation and resistance to interruption. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *15*(2), 315-330.
- Näätänen, R. (1975). Selective attention and evoked potentials in humans - a critical review. *Biological Psychology*, *2*, 237-307.
- Näätänen, R. (1982). Processing Negativity: An Evoked-Potential Reflection of Selective Attention. *Psychological Bulletin*, *92*, 605-640.
- Näätänen, R. (1990). The role of attention in auditory information processing as revealed by event-related potentials and other brain measures of cognitive function. *Behavioral and Brain Sciences*, *13*, 201-288.

- Näätänen, R., & Alho, K. (2004). Mechanisms of Attention in Audition as Revealed by the Event-Related Potentials of the Brain. In M. I. Posner (Ed.), *Cognitive Neuroscience of Attention* (pp. 194-206). New York, N. Y.: Guilford Press.
- Näätänen, R., Gaillard, A. W. K., & Mäntysalo, S. (1978). Early selective-attention effect on evoked potential reinterpreted. *Acta Psychologica*, *42*, 313-329.
- Näätänen, R., & Picton, T. (1987). The N1 wave of the human electric and magnetic response to sound: a review and an analysis of the component structure. *Psychophysiology*, *24*, 375-425.
- Näätänen, R., Teder, W., Alho, K., & Lavikainen, J. (1992). Auditory attention and selective input modulation: a topographical ERP study. *NeuroReport*, *3*, 493-496.
- Nobre, A. C. (2001). Orienting attention to instants in time. *Neuropsychologia*, *39*, 1317-1328.
- Nobre, A. C., Correa, A., & Coull, J. T. (2007). The hazards of time. *Current Opinion in Neurobiology*, *17*, 465-470.
- Nobre, A. C., & Coull, J. T. (2010). *Attention and Time*. Oxford: Oxford University Press.
- Nobre, A. C., Coull, J. T., Frith, C. D., & Mesulam, M. M. (1999). Orbitofrontal cortex is activated during breaches of expectation in tasks of visual attention. *Nature Neuroscience*, *2*(1), 11-12.
- Nobre, A. C., & O'Reilly, J. (2004). Time is of the essence. *Trends in Cognitive Sciences*, *8*, 387-389.
- Nunez, P. L. (1991). The linked-reference issue in EEG and ERP recording: comments on the paper by Miller, Lutzenberger and Elbert. *Journal of Psychophysiology*, *5*, 279-280.
- O'Brien, R. G., & Kaiser, M. K. (1985). MANOVA for analyzing repeated measurement design: An extensive primer. *Psychological Bulletin*, *97*, 316-333.
- Pashler, H. E. (1984). Processing stages in overlapping tasks: evidence for a central bottleneck. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *10*(3), 358-377.
- Pashler, H. E. (1998). *The psychology of Attention*. Cambridge: MIT Press.
- Picton, T. W. (1992). The P300 Wave of the Human Event-Related Potential. *Journal of Clinical Neurophysiology*, *9*, 456-479.

- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 3-25.
- Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The Attention Systems of the Human Brain. *Annual Reviews in Neuroscience*, 13, 25-42.
- Posner, M. I., Petersen, S. E., Fox, P. T., & Raichle, M. E. (1988). Localization of cognitive operations in the human brain. *Science*, 240(4859), 1627-1631.
- Posner, M. I., Snyder, C. R. R., & Davidson, B. J. (1980). Attention and the Detection of Signals. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109, 160-174.
- Pouthas, V., Garnero, L., Ferrandez, A. M., & Renault, B. (2000). ERPs and PET Analysis of Time Perception: Spatial and Temporal Brain Mapping During Visual Discrimination Tasks. *Human Brain Mapping*, 10, 49-60.
- Ritter, W., Vaughan Jr., H. G., & Costa, L. D. (1968). Orienting and habituation to auditory stimuli: A study of short term changes in average evoked responses. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 25, 550-556.
- Röder, B., Krämer, U. M., & Lange, K. (2007). Congenitally blind humans use different stimulus selection strategies in hearing: An ERP study of spatial and temporal attention. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 25(3-4), 311 - 322.
- Rothman, H., Davis, H., & Hay, I. (1970). Slow evoked cortical potentials and temporal features of stimulation. *Electroencephalography and Clinical ...*, 29, 225-232.
- Rousseau, R., Poirier, J., & Lemyre, L. (1983). Duration discrimination of empty time intervals marked by intermodal pulses. *Perception & Psychophysics*, 34, 541-548.
- Ruchkin, D. S., McCalley, M. G., & Glaser, E. M. (1977). Event Related Potentials and Time Estimation. *Psychophysiology*, 14, 451-455.
- Sanders, L. D., & Astheimer, L. B. (2008). Temporally selective attention modulates early perceptual processing: Event-related potential evidence. *Perception & Psychophysics*, 70, 732-742.
- Schafer, E. W., Amochaev, A., & Russell, M. J. (1981). Knowledge of stimulus timing attenuates human evoked cortical potentials. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 52(1), 9-17.
- Schröger, E., & Eimer, M. (1997). Endogenous covert spatial orienting in audition: "Cost-Benefit" analysis of reaction times and event-related potentials. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A*, 50, 457-474.

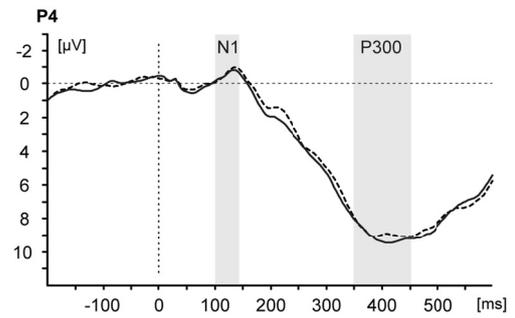
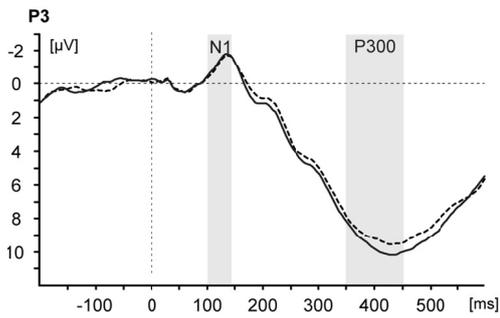
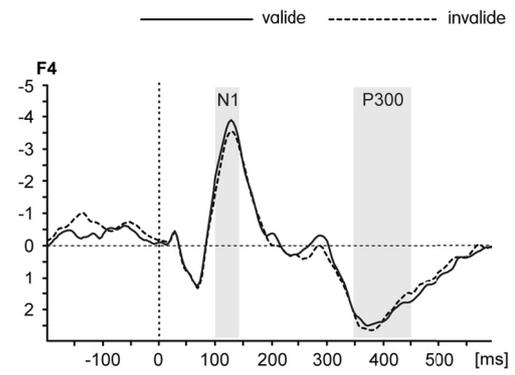
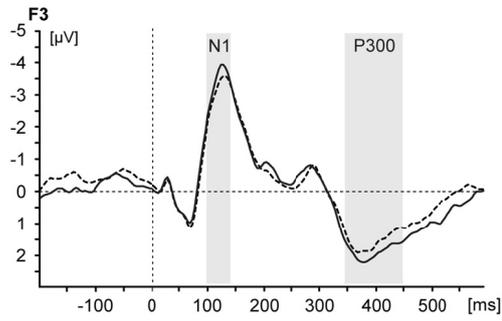
- Sheatz, G. C., & Chapman, R. M. (1969). Task relevance and auditory evoked responses. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, *26*(5), 468-475.
- Simson, R., Vaughan, H. G., & Ritter, W. (1977). Scalp Topography of Potentials in Auditory and Visual Go-Nogo Tasks. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *43*(6), 864-875.
- Smith, J. L., Johnstone, S. J., & Barry, R. J. (2006). Effects of pre-stimulus processing, on subsequent events in a warned Go/NoGo paradigm: Response preparation, execution and inhibition. *International Journal of Psychophysiology*, *61*(2), 121-133.
- Smith, J. L., Johnstone, S. J., & Barry, R. J. (2007). Response priming in the Go/NoGo task: The N2 reflects neither inhibition nor conflict. *Clinical Neurophysiology*, *118*(2), 343-355.
- Sutton, S., Braren, M., Zubin, J., & John, E. R. (1965). Evoked-Potential Correlates of Stimulus Uncertainty. *Science*, *150*, 1187-1188.
- Sutton, S., Tueting, P., Zubin, J., & John, E. R. (1967). Information Delivery and the Sensory Evoked Potential. *Science*, *155*, 1436-1439.
- Tecce, J. J. (1972). Contingent Negative Variation (CNV) and Psychological Processes in Man. *Psychological Bulletin*, *77*, 73-108.
- Theeuwes, J. (1989). Effects of location and form cuing on the allocation of attention in the visual field. *Acta Psychologica*, *72*(2), 177-192.
- Treisman, A. M. (1960). Contextual cues in selective listening. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *12*, 242-248.
- Tsal, Y. (1983). Movements of attention across the visual field. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *9*(4), 523-530.
- Urbach, T. P., & Kutas, M. (2002). The intractability of scaling scalp distributions to infer neuroelectric sources. *Psychophysiology*, *39*, 791-808.
- Van Voorhis, S., & Hillyard, S. A. (1977). Visual evoked potentials and attention to points in space. *Perception & Psychophysics*, *22*, 54-62.
- Walter, W. G., Winter, A. L., Cooper, R., McCallum, W. C., & Aldridge, V. J. (1964). Contingent Negative Variation - Electric Sign of Sensorimotor Association + Expectancy in Human Brain. *Nature*, *203*(494), 380-384.
- Westheimer, G. (1999). Discrimination of short time intervals by the human observer. *Experimental Brain Research*, *129*, 121-126.

- Welford, A. T. (1952). The “Psychological refractory period” and the timing of high-speed performance – a review and a theory. *British Journal of Psychology*, *43*, 2-19
- Woldorff, M. G., & Hillyard, S. A. (1991). Modulation of early auditory processing during selective listening to rapidly presented tones. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *79*, 170-191.
- Yantis, S., & Jonides, J. (1990). Abrupt visual onsets and selective attention: voluntary versus automatic allocation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *16*(1), 121-134.

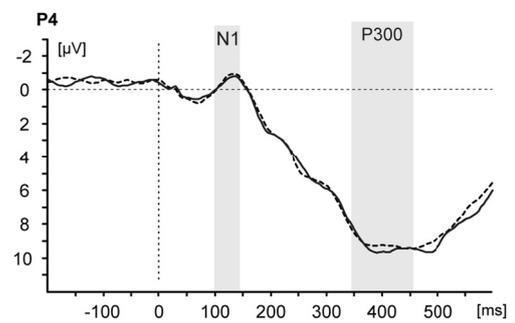
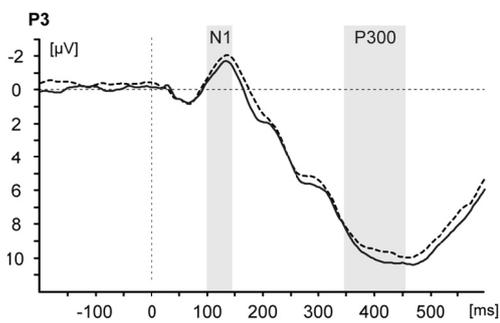
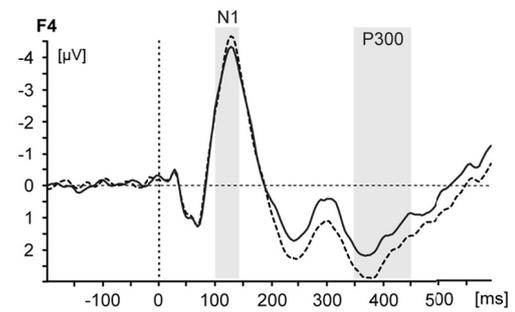
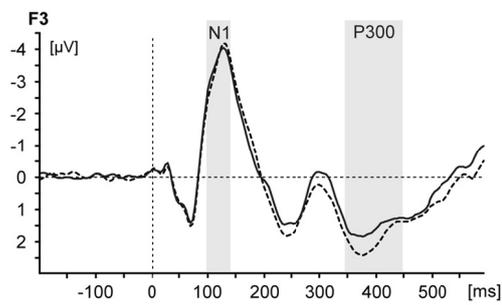
6 Anhang

Experiment 1

Target-EKP des kurzen Intervalls

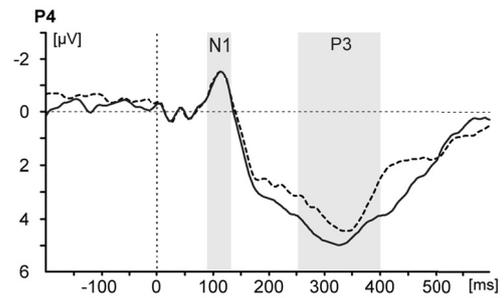
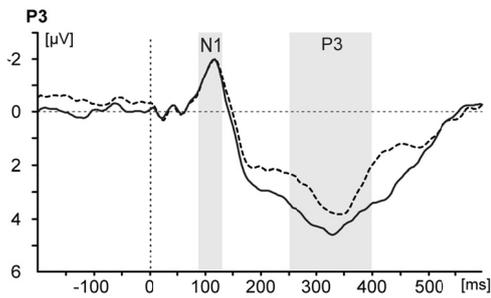
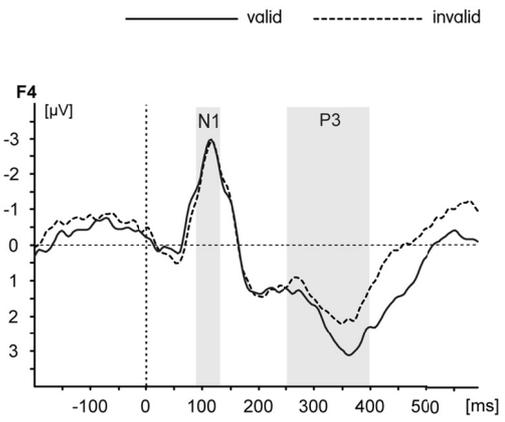
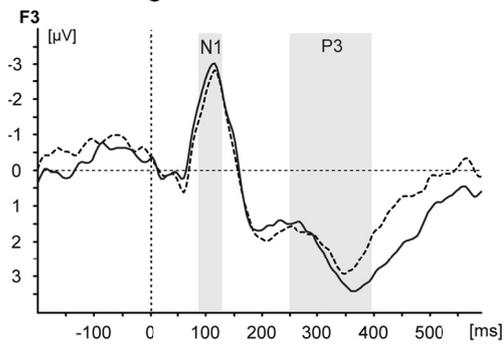


Target-EKP des langen Intervalls

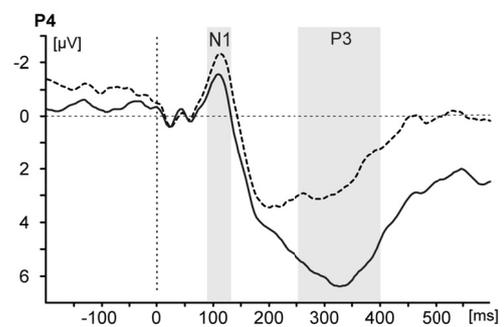
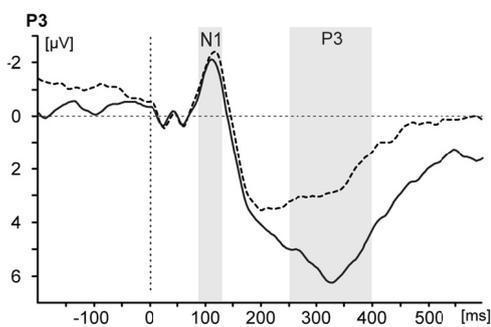
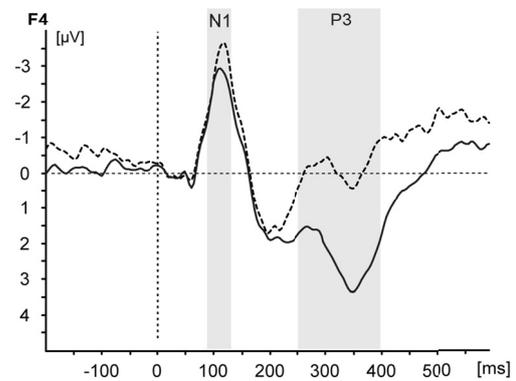
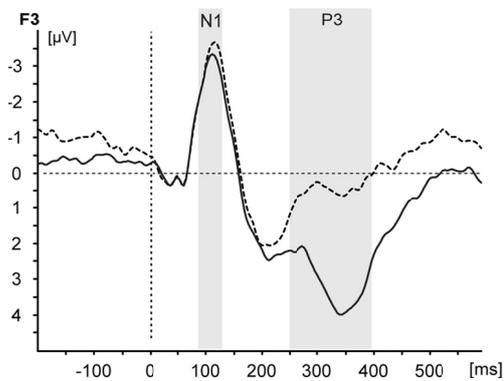


Experiment 2

Non-Target-EKP des kurzen Intervalls



Non-Target-EKP des langen Intervalls



Die von mir vorgelegte Dissertation habe ich eigenständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Arbeiten anderer entnommen sind, habe ich als entnommen kenntlich gemacht. Sämtliche Quellen, die ich für die Arbeit benutzt habe, sind angegeben. Die Dissertation wurde in der vorgelegten oder in ähnlicher Form noch bei keiner anderen Institution eingereicht. Ich habe bisher keinen erfolglosen Promotionsversuch unternommen.

Köln, 17.11.2011

Alexa Larissa Lampar