

Beachten oder ignorieren?

-

Untersuchungen zu Reaktionszeiten und EEG-Korrelaten des Negativ-Priming-Phänomens.

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der
Philosophie im Fachbereich Erziehungswissenschaften an der
Bergischen Universität Wuppertal

Vorgelegt von

Axel Kowalski

aus Viersen

Wuppertal 2003

1. Einleitung.....	1
1.1 Einführung und Übersicht	1
1.2 Negatives Priming – Das Phänomen	2
1.3 Erklärungsmodelle zum Negativ-Priming-Effekt	3
1.3.1 Inhibitionsbasierte Modelle	3
1.3.2 Gedächtnisbasierte Modelle	4
1.3.3 Integrativer Erklärungsansatz	6
1.4 Die Verarbeitungsebene des Negativ-Priming-Effekts	6
1.5 Determinanten des NP-Effekts.....	10
1.5.1 Zeitlicher Abstand zwischen Prime und Probe.....	10
1.5.2 Räumlicher Abstand zwischen Zielreiz und Distraktor.....	12
1.5.3 Kognitive Verarbeitungstiefe	13
1.6 Bisherige elektrokortikale und neuroanatomische Befunde.....	14
2. Experiment 1.....	18
2.1 Theoretische Einführung	20
2.2 Ziel des Experiments 1.....	20
2.3 Methoden.....	20
2.3.1 Versuchspersonen	20
2.3.2 Versuchsplan	20
2.3.3 Material und Versuchssteuerung	21
2.3.4 Versuchsdurchführung.....	22
2.3.5 Auswertung	25
2.4 Ergebnisse des Experiments 1.....	26
2.4.1 Fehlerraten.....	26
2.4.2 Reaktionszeiten: NP-Effekt.....	26
2.5 Diskussion	27
2.5.1 Einordnung der Resultate	27
2.5.2 Einfluss der Aufgabe und fehlende Aktivierung.....	27
2.5.3 Individuelle Unterschiede der Aktivierung.....	29
2.6 Fazit des Experiments 1	32
3. Experiment 2: Voruntersuchung	34
3.1 Theoretische Einführung	34
3.2 Ziel der Voruntersuchung.....	35
3.3 Methoden.....	35
3.3.1 Versuchspersonen	35
3.3.2 Material und Versuchssteuerung	36
3.3.3 Versuchsplan	37
3.3.4 Versuchsdurchführung.....	37
3.4 Auswertung	39

3.5 Ergebnisse.....	40
3.6 Diskussion der Voruntersuchung.....	41
4. Experiment 2: EEG-Untersuchung.....	45
4.1 Einführung.....	45
4.2 Komponenten visueller EKPs.....	45
4.2.1 N100.....	46
4.2.2 P300.....	47
4.2.3 EKP-Parameter und Interpretationsmöglichkeiten.....	49
4.2.4 Zahlenverarbeitung und Triple-Code Modell.....	50
4.3 Ziel der EEG-Untersuchung.....	51
4.4 Methoden.....	52
4.4.1 Versuchspersonen.....	52
4.4.2 Material und Versuchssteuerung.....	52
4.4.3 Versuchsplan.....	52
4.4.4 Versuchsdurchführung.....	52
4.4.5 Auswertung und ERP-Images.....	52
4.4 Ergebnisse.....	58
4.4.1 Reaktionszeiten: NP-Effekt.....	58
4.4.2 ERP-Image Darstellung: Alle Bedingungen.....	59
4.4.2.1 Pz-Elektrode.....	60
4.4.2.2 P4-Elektrode.....	63
4.4.2.3 FCz-Elektrode.....	65
4.4.3 Gemittelte Potenziale: Latenz und Amplitude.....	66
4.4.3.1 N100-Komponente: Latenz und Amplitude.....	66
4.4.3.2 P300-Komponente: Latenz und Amplitude.....	69
4.5 Diskussion der EEG-Untersuchung.....	72
4.5.1 NP-Effekt.....	72
4.5.2 ERP-Image Darstellung.....	72
4.5.3 N100: Frühe Selektion.....	75
4.5.4 P300: Späte Selektion und NP-Effekt.....	76
4.5.5 Potenzialverläufe und Zahlenverarbeitung.....	78
5. Generelle Diskussion und Ausblick.....	81
5.1 Reaktionszeiten und Modellannahmen des NP-Effekts.....	81
5.2 EEG-Befunde und Modellannahmen des NP-Effekts.....	83
5.3 Fazit und Ausblick.....	85
6. Zusammenfassung.....	87
7. Literatur.....	89
8. Anhangsverzeichnis.....	100

1. Einleitung

1.1 Einführung und Übersicht

Die Anzahl der Reize, die visuell, auditiv und taktil auf ein Individuum täglich einströmen, macht einen Mechanismus notwendig, der aus diesem Strom von Daten, gerade solche Informationen herausgreifen kann, die zur Erfüllung einer aktuellen Aufgabe notwendig sind. Das unmittelbare Ziel, dieser im Allgemeinen nicht bewussten Leistung, ist es die beachteten Informationen zur Handlungssteuerung zu verwenden. Das Phänomen des negativen Primings gehört zu den Paradigmen, mit denen diese selektive Aufmerksamkeitsleistung analysiert werden kann.

Der Begriff der Aufmerksamkeit scheint auch im Alltag, außerhalb der wissenschaftlichen Betrachtung, vertraut zu sein, so dass William James bereits 1890 in seinem Werk „The principles of psychology“ feststellte:

„Everyone knows what attention is. It is the taking possession of mind, in clear and vivid form, of one out of several possible objects or trains of thought. Focalisation, concentration of consciousness are of its essence. It implies withdrawel from some things in order to deal effectively with others.“ (S. 403f.).

Fokussierung und Konzentration wurden von James als die zentralen Charakteristika heraus gestellt, die ein Individuum in die Lage versetzen, selektiv eine für eine Handlung notwendige Information, aus der Umwelt zu beziehen. Der Vorgang der Selektion beinhaltet notwendigerweise auch die Ablehnung anderer Informationen, die für das erforderliche Verhalten momentan keine Bedeutung haben. An diesem Punkt stellt sich geradezu zwangsläufig die Frage, wie das menschliche Nervensystem die zur Auswahl nötigen Prozesse bewältigt. Wie und wann wird entschieden, welche der Gedankenketten, der „several possible trains of thought“, beachtet werden und welche ignoriert werden?

Ein Kennzeichen der Theoriebildung in der psychologischen Forschung ist die Wahl geeigneter Paradigmen zur Untersuchung bestimmter Phänomene. Im Bereich der kognitiven Psychologie wurde dabei ein Großteil der Untersuchungen durchgeführt, um die gerade aufgezeigte Problemstellung der selektiven Aufmerksamkeit beschreiben und verstehen zu können (Parkin, 2000). Die Untersuchungen mit denen sich die kognitive Psychologie befasst, zielen darauf ab, eine mögliche Beschreibung der mentalen Vorgänge zu geben, die mit der Enkodierung und Verarbeitung von umschriebenen Reizen in Verbindung stehen.

Durch das Verständnis solcher Phänomene, wie das des negativen Primings, können unter anderem auch die mit der selektiven Aufmerksamkeit assoziierten Prozesse besser verstanden werden. Daher ist es nahe liegend, physiologische Messungen durchzuführen, die ergänzend, zu von außen beobachtbaren Verhaltensreaktionen, Aussagen über die zeitliche Struktur und die Zusammensetzung der neurophysiologischen Vorgänge liefern können. Als das Instrument der Wahl steht hier die Aufzeichnung des menschlichen Electroencephalogramms (EEG) zur Verfügung. Während für diese Untersuchungsmethode vor 30 Jahren noch aufwendige Apparaturen notwendig waren, hat sich, durch die zunehmende Verbreitung der Personal-Computer (PC), die Forschungssituation in den letzten Jahren radikal verändert. PC-basierte EEG-Systeme speichern nun große Datenmengen direkt auf digitalen Medien, so dass die Daten danach mit allen zur Verfügung stehenden Methoden analysiert werden können. Die Einfachheit, mit der die Aufzeichnungen der Gehirnaktivität vorgenommen werden, sollte aber nicht auf die durchaus strengen Grundlagen der Durchführung und Auswertung solcher Untersuchungen übertragen werden (siehe auch Picton et al., 2000). Ein Teil dieser Arbeit beschäftigt sich daher auch mit der Problematik, die durch die Einbeziehung einer EEG-Messung in ein psychologisches Experiment entsteht.

1.2 Negatives Priming – Das Phänomen

Klassischerweise erfolgt die Darbietung der Stimuli in einem Negativ-Priming-Paradigma in der sich stetig wiederholenden Abfolge zweier sukzessiv präsentierter Versuchsdurchgänge. Diese inhaltlich verbundenen Darbietungen werden mit der Bezeichnung Prime und Probe versehen, und ein zusammengehöriges Prime-Probe-Paar wird als Couplet bezeichnet. Jede dieser Darbietungen besteht aus einem Zielreiz (Target), auf den bei korrekter Ausführung der jeweiligen Aufgabe reagiert werden soll, sowie einem Ablenkungsreiz, dem Distraktor, der dabei ignoriert werden soll. Negatives Priming, messbar unter anderem in einer Verlangsamung der Reaktionszeit (NP-Effekt) entsteht dann, wenn der Distraktor des Prime zum Zielreiz in dem unmittelbar darauf folgenden Probe wird. Die experimentellen Paradigmen des negativen Primings basieren also immer auf einem ständigen Wechsel zwischen den Handlungsinformationen „Reagieren“ und „Ignorieren“. Analog hierzu lässt sich eine verkürzte Reaktion registrieren, wenn im Prime und im Probe der Zielreiz identisch ist. Dieser Effekt wird als positives Priming bezeichnet. Negatives und positives Priming, werden immer über den Vergleich zwischen einer Experimental- und einer Kontrollbedingung ermittelt. Zur Kontrolle werden

inhaltlich nicht miteinander assoziierte Prime-Probe-Paare präsentiert, wobei die Probe-Stimuli mit denen der zugehörigen Experimentalbedingung identisch sind.

Dalrymple-Alford & Budayr (1966) waren die Ersten, die das Phänomen des negativen Primings demonstrierten. In der zugrunde liegenden Aufgabe, dem Farbwort-Interferenz-Test von Stroop (1935), soll so schnell wie möglich die Druckfarbe einer Farbbezeichnung benannt werden. Eine kognitive Interferenz, messbar in einer Verlängerung der Reaktionszeit oder einer höheren Fehlerrate im Vergleich zu einer Kontrollbedingung, tritt im Stroop-Paradigma gewöhnlich dann auf, wenn das Farbwort und dessen Druckfarbe nicht übereinstimmen. Dalrymple-Alford und Budayr konnten zusätzlich zeigen, dass die Benennung der Druckfarbe vor allem verlangsamt war, wenn das Farbwort des vorhergehenden Durchgangs zur Druckfarbe im aktuellen Durchgang wurde. In einem ersten Erklärungsansatz wurde angenommen, dass die kognitive Information, die durch das automatische Lesen des Farbwortes im Prime aktiviert worden war, unterdrückt werden musste, damit eine korrekte Benennung des Zielreizes im Probe erfolgen konnte.

Die Verzögerung der Reaktionszeit in der Negativ-Priming-Bedingung gegenüber der Reaktion in einer entsprechenden Kontrollbedingung beträgt typischerweise zwischen 15 ms und 30 ms. Wie Wagner (1997) bereits feststellte, wird eine Person wohl kaum unter einem NP-Effekt leiden, da die mittlere Effektgröße keine Auswirkung auf die Verrichtung alltäglicher Tätigkeiten hat. Der NP-Effekt bietet aber die Möglichkeit einen wichtigen Teilaspekt der kognitiven Verarbeitung der Datenflut unserer Umwelt zu analysieren. So erscheint auch die Hoffnung nicht unbegründet, dass durch eine detaillierte Analyse des Phänomens auch der Prozess der selektiven Aufmerksamkeit besser verstanden werden kann.

1.3 Erklärungsmodelle zum Negativ-Priming-Effekt

1.3.1 Inhibitionsbasierte Modelle

Ein Ansatz geht von der Wirkung eines zentralen Inhibitionsmechanismus aus, dessen Aktivität selektiv die Information unterdrückt, die im Prime durch den Distraktor gegeben ist (siehe auch Neill, 1977). Da aber die entsprechende Information im Probe zu einem wichtigen Bestandteil der Aufgabe wird, muss die Inhibition dann überwunden werden, dieser Prozess führt zu einer messbaren Leistungsbeeinträchtigung. Weiterhin wird auch angenommen, dass die Verbindungen zwischen den konzeptuellen Repräsentationen des Zielreizes und

einem zugehörigen Antwortmechanismus durch den Inhibitionsmechanismus blockiert werden können (Tipper, 1985; Houghton & Tipper, 1994; Response-Blocking Modell von Tipper & Cranston, 1985). Grundsätzlich hat die Existenz eines Inhibitionsprozesses eine positive Auswirkung innerhalb der kognitiven Verarbeitung: Die durch den Distraktor aktivierte Information eines Durchgangs wird unterdrückt, so dass keine Reaktion auf den ignorierten Reiz erfolgt. Auf den Zielreiz der Prime-Darbietung kann so ungehindert reagiert werden. Der negative Aspekt der Inhibition, die Leistungsbeeinträchtigung, wird erst offenbar, wenn der Distraktor des Prime mit dem Target des Probe übereinstimmt. Die Überwindung der Inhibition, zur Auswahl der korrekten Antwort, resultiert in einer erhöhten Reaktionszeit. Implizit wird in dieser Modellannahme auch vorausgesetzt, dass relevante Informationen zur Aktivierung entsprechender Gedächtnisrepräsentationen führen. Des Weiteren aktivieren irrelevante Informationen ebenfalls entsprechende kognitive Repräsentationen, die allerdings kurz darauf gehemmt werden.

1.3.2 Gedächtnisbasierte Modelle

Eine andere Annahme basiert auf der Überlegung, dass für jeden präsentierten Stimulus eine Gedächtnisspur angelegt wird, die bestimmte Merkmale oder Markierungen enthält. In der NP-Bedingung besteht dann, aufgrund der Aufgabenstellung, ein inhaltlicher Konflikt, zwischen der Gedächtnisspur des Prime-Distraktors und derjenigen des Probe-Zielreizes. Die Auflösung des Konfliktes benötigt die durch den NP-Effekt registrierte Zeit. Diese Annahme wurde in mehreren Modellen weiter ausformuliert, die im Folgenden dargestellt sind.

Nach dem Episodic-Retrieval-Modell von Neill und Valdes (1992) wird für jeden präsentierten Stimulus eine neue Gedächtnisspur gebildet. Diese Spur enthält eine „Reagieren-Markierung“ für Zielreize, oder eine „Ignorieren-Markierung“ für Distraktorreize. Negatives Priming resultiert aus dem Abruf einer Gedächtnisspur, deren Markierung nicht mit der aktuell zu leistenden Reaktion übereinstimmt: Es besteht ein Konflikt zwischen der gespeicherten Markierung und der Spur der aktuellen Aufgabe. Aus diesem Modell kann weiterhin geschlossen werden, dass der NP-Effekt umso größer ist, je besser die Information der Prime-Stimuli erinnert wird. Die Qualität der Erinnerung ist dabei abhängig von der Gründlichkeit der Enkodierung (z.B. genauere Analyse durch längere Darbietung der Stimuli), und sie hängt von der Ähnlichkeit der Umstände zum Zeitpunkt der Enkodierung und des Abrufs ab.

Entsprechend dem Feature-Mismatching-Modell von Park und Kanwisher (1994) entsteht negatives Priming aufgrund der Interferenz in der räumlichen Information des Probe-Zielreizes, die mit der Information aus der Prime-Darbietung nicht vereinbar ist: Der Zielreiz des Probe unterscheidet sich von dem Item, das im Prime dieselbe Position einnahm. Dieser Vorgang ist unabhängig davon, ob das im Prime präsentierte Item ein Zielreiz oder ein Distraktor war (Tipper, Brehaut, & Driver, 1990). Nach Park und Kanwisher (1994) zeigt sich hier eine Reaktionszeitverlängerung infolge der Lokalisations-Identitäts-Inkongruenz zwischen Prime-Distraktor und Probe-Zielreiz.

Das Temporal-Discrimination-Modell von Milliken et al. (1998) postuliert zwei Klassen von Gedächtnis-Prozessen, die bei der Reaktion auf einen Probe-Zielreiz generiert werden:

- Der Probe-Zielreiz wird als bekannt („alt“) identifiziert: Es erfolgt ein automatischer Abruf der Repräsentation, wenn der Zielreiz im Prime und Probe identisch ist. Der automatische Prozess resultiert in einer beschleunigten Reaktion, es findet positives Priming statt.
- Der Probe-Zielreiz wird als „neu“ identifiziert: In diesem Fall hängen Prime und Probe inhaltlich nicht zusammen. Es erfolgt eine genaue perzeptuelle Analyse, die Zeit in Anspruch nimmt. Diese Bedingung stellt eine neutrale Kontrolle dar.

Als Konsequenz ergibt sich aus der Aktivierung dieser Prozesse, dass in der Negativ-Priming-Bedingung der Probe-Zielreiz „ein wenig“ bekannt ist, so dass er nicht gleich als „neu“ kategorisiert wird. Er ist aber nicht so bekannt, dass er als „alt“ klassifiziert werden kann. Diese Zweideutigkeit im zeitlichen Diskriminationsprozess soll die Ursache für negatives Priming sein. Das Modell von Milliken et al. (1998) integriert Aspekte aus dem Response-Blocking-Modell (Tipper & Cranston, 1985) und dem Episodic-Retrieval-Modell (Neill & Valdes, 1992): Ein Orientierungssystem ist dafür verantwortlich die Unterschiede zwischen dem gegenwärtigen Probe-Stimulus und der Gedächtnisrepräsentation des vorangegangenen Prime-Stimulus zu registrieren. Ein automatischer Abrufprozess ist zuständig für die Entdeckung von Übereinstimmungen zwischen Prime und Probe. Das Orientierungssystem ist für die zeitliche Unterscheidung zuständig, der automatische Abrufprozess steuert hingegen die zeitliche Integration der Information. In der NP-Bedingung entsteht die verzögerte Reaktion dadurch, dass ein Reiz in unterschiedlichen Zusammenhängen von Zeitpunkt 1 (Prime) nach Zeitpunkt 2 (Probe) auftritt. Das Orientierungssystem stößt hier auf eine

Abweichung im zeitlichen Verlauf der Reizdarbietung. Eine Klassifikation als „alt“ oder „neu“ ist damit schwierig. Der automatische Abrufprozess wird infolgedessen beeinträchtigt, weil aufgrund des im Orientierungssystem erzeugten, nicht eindeutigen Ergebnisses, keine ausreichende Information zur Verfügung steht, um die zutreffende Reaktion möglichst schnell generieren zu können.

1.3.3 Integrativer Erklärungsansatz

Insgesamt zeigt sich, bei einem Vergleich der verschiedenen Studien und Übersichtsarbeiten zu theoretischen Erklärungsmodellen des NP-Effekts, dass keine der vorgestellten Theorien das Phänomen vollständig erklären kann. Der überwiegende Anteil der bisher in der Literatur berichteten Befunde lässt sich sowohl inhibitions- als auch gedächtnisbasiert erklären. Diese Situation hat zu dem Bemühen geführt, die Modelle nicht isoliert zu betrachten, sondern Aspekte der verschiedenen Theorien zu integrieren. Beispielsweise postulierten Kane et al. (1997) einen dualen Mechanismus, der die inhibitorische und wiederabrufbasierte Sichtweise im Verbund sieht. Diese Annahme basiert dabei auf den Gemeinsamkeiten der Modelle (siehe auch Pesta & Sanders, 2000): Beide Mechanismen machen zu ignorierende Stimuli für Reaktionsmechanismen weniger verfügbar, und sind notwendigerweise mit Aufmerksamkeit verknüpft. Beide Modelle sagen entwicklungsbedingte Unterschiede vorher und fokussieren die Aufmerksamkeit und die zur Verfügung stehenden mentalen Ressourcen auf zielrelevantes Handeln.

Weiterhin kann auch in Betracht gezogen werden, dass der vermutete Inhibitionsmechanismus zu anderen Zeitpunkten und auf anderen Ebenen der kognitiven Verarbeitung aktiv ist, als die Prozesse, die in den gedächtnisbasierten Modellen angenommen werden. Die Suche nach einem Erklärungsmodell des negativen Primings ist demnach auch mit der Analyse der kognitiven Verarbeitungsebene verknüpft, auf dem der NP-Effekt seine Wirkung entfaltet. Ebenfalls sollte die Abhängigkeit des NP-Effekts von der Art und Weise der Präsentation in einem experimentellen Paradigma diskutiert werden. Die folgenden Abschnitte geben einen Überblick bezüglich der wesentlichen Aspekte, die hierbei beachtet werden sollten.

1.4 Die Verarbeitungsebene des Negativ-Priming-Effekts

Eine Vielzahl von Experimenten hat die Stufen der kognitiven Repräsentation untersucht, auf denen negatives Priming vermutlich zustande kommt (Übersicht in

Fox, 1995). Nach den bisherigen Erkenntnissen sind drei Verarbeitungsebenen, als mögliche Wirkungsorte eines NP-Effekts in der Diskussion (Fox, 1995; Damian, 2000):

- Perzeptuelle Ebene: Die Verarbeitung auf dieser Ebene findet zu Beginn des Wahrnehmungsprozesses statt. Betrachtet werden hier die kognitiven Prozesse, die mit der unmittelbaren Analyse der physikalischen Eigenschaften eines Stimulus assoziiert sind: Negatives Priming tritt nur dann auf, wenn der Probe-Zielreiz perzeptuell identisch ist mit dem Prime-Distraktor.

Die in der Feature-Mismatch-Theorie (Park & Kanwisher, 1994) postulierten Mechanismen scheinen auf dieser Ebene zu wirken. Die Information, die in der räumlichen Konfiguration bzw. dem Präsentationsort eines Stimulus enthalten ist, genügt hier zur Generierung eines NP-Effekts. Wenn ein Distraktor an einer bestimmten Position im Prime platziert ist und im Probe an genau derselben Stelle ein Zielreiz auftritt, reicht dies schon aus, um eine Inkongruenz und damit negatives Priming zu erzeugen, d.h. es bedarf keines Distraktors im Probe oder anderer Reaktionserschwernisse, um diesen Effekt zu erzielen (siehe auch Wagner, 1997).

Das Phänomen der „inhibition of return“, das eine Reaktionszeitverzögerung bezeichnet, die eintritt weil die Augen erneut auf einen Punkt fixiert werden müssen, der unmittelbar zuvor bereits fixiert wurde (Posner & Cohen, 1984; Posner, Rafal, Choate, & Vaughan, 1985), kann ebenfalls der perzeptuellen Verarbeitungsebene zugeordnet werden.

- Zentrale Ebene der Verarbeitung: Bezeichnet die kognitiven Prozesse die mit der konzeptuellen Analyse bzw. der Bedeutung der Stimuli verbunden sind. Negatives Priming wirkt auf dem Niveau der Reizrepräsentation und dem Zugriff auf die Effektoren. Der Effekt ist weder an die Identität der Reize noch an eine identische Reaktion gebunden.

In den meisten Fällen beinhaltet negatives Priming die abstrakte, konzeptuelle Bedeutung eines Stimulus. Beweise für diese Hypothese stammen aus Arbeiten, in denen die Zeit zur Benennung des Probe-Zielreizes, der perzeptuell identisch mit dem Prime-Distraktor war, verglichen wurde mit der Zeit, die benötigt wurde um perzeptuell unterschiedliche, aber konzeptuell identische Zielreize zu benennen (Beispiel: Das Bild eines Hundes und das Wort Hund) Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die Reaktionen auf beide Typen von Probe-Zielreizen verzögert waren, im Vergleich mit den Reaktionen auf Zielreize, die konzeptuell nicht mit dem Prime-Distraktor in Verbindung

standen (siehe auch Dalrymple-Alford & Budayr, 1966; Tipper & Driver, 1988; Tipper, McQueen, & Brehaut, 1988). Nach der Argumentation der Inhibitionsmodelle, resultiert der NP-Effekt hier aus der Inhibition der konzeptuellen Repräsentation des Prime-Distraktors. Episodische Erklärungsansätze führen das negative Priming darauf zurück, dass die semantische Bedeutung des Prime-Distraktors, also keine Reaktion zu initiieren, durch die Präsentation im Prime definiert wird. Diese Definition widerspricht dann zwangsläufig der Bedeutung im Probe.

Fraglich ist jedoch ob das negative Priming auf dieser Stufe der Repräsentation tatsächlich auf der Gesamtbedeutung des Prime-Distraktors beruht, oder vielmehr auf einzelne Merkmale zurückgeführt werden kann. Wentura (1999) fragte Probanden nach der Valenz eines Targets (positiv vs. negativ). Obwohl das Probe-Target immer auf ein anderes Konzept verwies als der Prime-Distraktor, waren die Reaktionen im Probe verzögert, wenn das Target die gleiche Valenz hatte wie der Prime-Distraktor (z.B.: Prime-Distraktor = Glück, Probe-Target = Blume). Die Tatsache, dass negatives Priming bei derart unterschiedlichen Konzepten nachgewiesen werden konnte, die nur eine Gemeinsamkeit mit dem Prime (Valenz) aufwiesen, lässt vermuten, dass negatives Priming mehr auf diesem speziellen Bestandteil der Stimuli basierte, als auf der Bedeutung des Prime-Distraktors als solchem (siehe auch Macrae, Bodenhausen, & Milne, 1995; Tipper, Weaver, & Houghton, 1994). Einschränkend muss hier allerdings festgestellt werden, dass durch die gestellte Aufgabe der Fokus der Aufmerksamkeit auf dem Parameter lag. Die Beurteilung dieser Eigenschaft war gerade die wichtigste Information zur Beantwortung der Aufgabe.

Negatives Priming tritt auch dann auf, wenn sich der Stimulustyp vom Prime zum Probe-Trial ändert, z.B. der Wechsel von Großbuchstaben zu Kleinbuchstaben (Allport, Tipper & Chmiel, 1985; Lowe, 1985), von Bildern zu Wörtern (Driver & Tipper, 1989; Tipper & Driver, 1988), zu verschiedenen Sinnes- bzw. Reaktionsmodalitäten (Driver & Baylis, 1993; Greenwald, 1972; Tipper, MacQueen & Brehaut, 1988) und von Wörtern/Bildern zu semantisch verbundenen Reizen (z.B. Distraktor „Hund“, Zielreiz „Katze“; Allport et al., 1985; Tipper, 1985; Yee, 1991). Im letzteren Fall sind allerdings Zweifel über einen semantischen Wirkungsort des negativen Primings aufgekommen. So stellte Damian (2000) aufgrund einer eigenen Untersuchung mit Bildern fest, dass negatives Priming auftrat, egal, ob die Bilder selbst oder deren Kategorie-Zugehörigkeit benannt werden sollten. Kategorielles negatives Priming hingegen trat nur in der Kategorisierungs-, nicht aber in der

Benennungsbedingung auf, selbst dann nicht, wenn die Bilder sich strukturell ähnelten. Daraus schloss Damian (2000), dass sich negatives Priming nicht auf kategoriell verbundene Stimuli erstreckt, was der Annahme eines zentralen Wirkungsortes widersprechen würde.

- Motorische Ebene: Sowohl in der Prime- als auch in der Probe-Darbietung ist die identische Reaktion erforderlich (z.B. Tastendruck). NP-Effekte, die nur auf einem solchen Phänomen beruhen sind allerdings bisher nicht bekannt, und werden daher im Folgenden auch nicht weiter diskutiert.

Die zentrale Ebene der Verarbeitung scheint am ehesten als Wirkungsort des NP-Effektes bzw. als diejenige Stufe der kognitiven Verarbeitung, auf der mit dem NP-Effekt assoziierte Prozesse zu finden sind, in Frage zu kommen. Das Hauptargument liegt dabei in der Tatsache, dass negatives Priming grundsätzlich mit selektiver Aufmerksamkeit verknüpft ist, die ein zielorientiertes Handeln ermöglichen soll. Ohne zentral gesteuerte Prozesse ist diese Integrationsleistung allerdings nicht möglich. Bei Betrachtung aller Argumente und der bisherigen Befunde sollte aber auch in der Diskussion der Verarbeitungsebene eine flexible Sichtweise gelten, da nicht ausgeschlossen werden kann, dass sich NP-Effekte auf den verschiedenen Stufen der kognitiven Verarbeitung zu einem Gesamteffekt addieren. Eine ähnliche Argumentation verfolgten bereits Tipper, Weaver und Houghton (1994) für inhibitionsbasierte NP-Mechanismen. Sie gingen davon aus, dass multiple perzeptuelle Repräsentationen der Objektmerkmale entstehen, z.B. hinsichtlich Farbe, räumlicher Position und Identität. Sie schlossen daraus, dass die Inhibition ignorerter Informationen jeder Repräsentationsebene zugeordnet werden kann, je nach Aufgabenziel: Beim Vergleich von Stimulusmerkmalen käme die perzeptuelle Ebene in Frage, im Falle von Stimuluskategorisierungen käme der semantische (zentrale) Aspekt zum Tragen. Bei einem direktem Zugriff auf das Zielobjekt wäre negatives Priming eher mit handlungsbezogenen internen Repräsentationen des zu ignorierenden Objekts verbunden, als mit wahrnehmungsbezogenen oder semantischen Aspekten.

Welcher Prozess insgesamt als der zentrale Aspekt des Negativ-Priming-Phänomens herausgestellt werden kann, ist bisher noch nicht Gegenstand der Forschung gewesen. Zumindest spricht vieles dafür, dass die zentrale kognitive Ebene den größten Teil des Effektes trägt. Diese Annahme wird auch deutlich, wenn Studien, die auf einem perzeptuellen NP-Paradigma basieren, mit solchen Studien verglichen werden, die eine konzeptuelle Verarbeitung der Stimuli erfordern: Die konzeptuelle Verarbeitung generiert immer den größeren NP-Effekt.

1.5 Determinanten des NP-Effekts

Wie bereits festgestellt wurde, lässt sich negatives Priming durch die unterschiedlichsten Stimuli und in allen Modalitäten erzeugen. Essentieller Bestandteil aller bisher verwendeten Paradigmen ist jedoch, dass zwischen Prime und Probe ein Widerspruch in der Information bestehen muss, die einen wesentlichen Bestandteil zur Beantwortung einer Aufgabe darstellt. Verschiedene Faktoren der Art und Weise der Präsentation der Stimuli können auf diese unbedingt notwendige Interferenz Einfluss nehmen. Im Folgenden sollen daher die wichtigsten Parameter vorgestellt werden, die bei der Konzeption eines NP-Versuchs besondere Berücksichtigung finden sollten.

1.5.1 Zeitlicher Abstand zwischen Prime und Probe

Die experimentelle Variation im zeitlichen Abstand zwischen den Stimuli der Prime- und Probe-Darbietung soll die Frage klären, wie der NP-Effekt durch eine mögliche Veränderung im zeitlichen Zusammenhang beeinflusst wird. Implizit ist die Annahme enthalten, dass die Änderungen im zeitlichen Zusammenhang in einem proportionalen Verhältnis zur Veränderung des inhaltlichen Zusammenhangs zwischen Prime und Probe stehen. Zur Manipulation wird hierzu die Zeit zwischen Ausblenden der Prime-Stimuli und Einblenden der Probe-Stimuli variiert (Inter-Stimulus-Interval, ISI), sowie die Zeit zwischen der Reaktion auf den Prime und dem Einblenden des Probe-Displays verändert (Response-to-Stimulus-Interval, RSI). Die Ergebnisse fallen über die Manipulation der Zeitparameter hinweg ähnlich aus. Bei sehr kurzen Abständen (d. h. 20-50 ms) zwischen Prime und Probe zeigt sich kaum bzw. gar kein negatives Priming (Lowe, 1985; Neill & Westberry, 1987). Lupiáñez et al. (2000) konnten durch Variation der Prime-Probe-Intervalle (250, 450, 650 und 850 ms) in einer lexikalischen Entscheidungsaufgabe zeigen, dass bei einem Intervall von 250 ms kein negatives Priming auftrat. Das Ergebnis lässt darauf schließen, dass eine inhaltliche kognitive Verarbeitung einen zeitlichen Mindestabstand zwischen Prime und Probe erfordert: Der Mechanismus des negativen Primings benötigt eine bestimmte Zeit, um seine Wirkung zu entfalten. Die Verlängerung der Reaktionszeit bleibt ebenfalls aus, wenn bei der Instruktion das Gewicht eher auf Schnelligkeit als auf Genauigkeit der Reaktion gelegt wird (Neill, 1977; Neill, 1979; Neill & Westberry, 1987; Neumann & DeSchepper, 1992).

Weiterhin kann angenommen werden, dass der NP-Effekt nicht nur vom zeitlichen Abstand zwischen Prime und Probe abhängt, sondern auch vom Abstand zwischen Prime und vorangegangenem Probe. Neill und Valdes (1992)

untersuchten auch diesen Zusammenhang, indem sie vier verschiedene Intervall-Kombinationen wählten. Die erste Zahl der folgenden Kombinationen bezeichnet das PRSI (previous response-stimulus-interval; Conway, 1999), die zweite Zahl steht für die Länge des RSI: 500-500 ms, 500-4000 ms, 4000-500 ms und 4000-4000 ms. In den 500-500- und 4000-4000-ms-Bedingungen trat ein vergleichbarer NP-Effekt auf (26 bzw. 20 ms), da beide Intervalle jeweils im Verhältnis 1 zu 1 standen. Ausgeprägtes negatives Priming zeigte sich in der 4000-500-ms-Bedingung (39 ms), da das kürzere Intervall zwischen Prime und Probe im Vergleich zum längeren Intervall zwischen vorangegangenem Probe und nachfolgendem Prime eine bessere zeitliche Unterscheidbarkeit bewirkte. Die präsentierten Couplets konnten so auch deutlich als inhaltlich zusammenhängend wahrgenommen werden. In der umgekehrten Bedingung (500-4000 ms) war der zeitliche Abstand zwischen Prime und Probe zu groß, was zu einer herabgesetzten Unterscheidbarkeit innerhalb der Couplets und somit zu geringem negativem Priming führte (14 ms).

Die Diskussion der zeitlichen Parameter wirft auch zwangsläufig die Frage auf, wie lange der NP-Effekt innerhalb einer Aufgabe anhalten kann. Es gibt Hinweise, dass negatives Priming nicht unmittelbar nach einer erfolgten Reaktion abklingt, sondern auch noch bei der Verarbeitung nachfolgender Items wirkt. Neill und Valdes (1992) variierten in einer Buchstaben-Übereinstimmungs-Aufgabe die Prime-Probe-Intervalle (500, 1000, 2000, 4000 und 8000 ms RSI). Sie stellten fest, dass der NP-Effekt nach etwa 500 ms RSI beträchtlich abnahm (Rückgang von 72 ms auf 15 ms), sich jedoch auf einem niedrigeren Niveau bis zu 8 s halten konnte. Der Episodic-Retrieval-Ansatz scheint die unterschiedlichen Befunde, die durch die beschriebenen Variationen des Darbietungsparameters entstehen am ehesten erklären zu können: Wenn das RSI zwischen Prime und Probe innerhalb eines Experimentalblocks konstant gehalten wird, sind alle Durchgänge dieses Blocks gleichermaßen voneinander unterscheidbar, unabhängig von der Länge des RSI. Somit bleibt der Negativ-Priming-Effekt über alle Durchgänge hinweg konstant. Variiert man dagegen das RSI-Intervall innerhalb eines Experimentalblocks, sind Durchgänge mit kurzen RSI zeitlich deutlicher unterscheidbar und somit besser wiederabrufbar als Durchgänge mit einem längeren RSI. Im Falle kurzer RS-Intervalle entsteht im Probe ein größerer Konflikt aufgrund der besseren Wiederabrufbarkeit, die zu einem größeren NP-Effekt führt. Der Temporal-Discrimination-Ansatz von Milliken et al. (1998) bietet sich ebenfalls zur Erklärung an: Liegen Prime und Probe zeitlich weit auseinander, wird das Orientierungssystem eher zur Einstufung des Probe-Zielreizes als „neu“ tendieren.

Somit verkleinert sich für das automatische Abrufsystem der Konflikt hinsichtlich der Entscheidung, welche Reaktion nun auszuführen ist. Infolgedessen kann schneller reagiert werden, was zu geringerem negativem Priming führt.

Ein beeindruckendes Beispiel für einen anhaltenden NP-Effekt registrierten DeSchepper und Treisman (1996) bei Darbietung abstrakter Formen. Der NP-Effekt überdauerte einen zeitlichen Abstand von bis zu 30 Tagen zwischen Prime und Probe. Hierzu wurden Stimuluspaare in zwei Sitzungen dargeboten, wobei der zeitliche Abstand zwischen diesen Sitzungen variiert wurde (1 Tag, 1 Woche, 1 Monat). Bei der Probe-Darbietung in der zweiten Sitzung, waren offensichtlich noch Gedächtnisspuren der ignorierten Stimuli der ersten Sitzung vorhanden, so dass bei der Reaktion auf einen Probe-Zielreiz, der bis zu 30 Tage vorher ein Prime-Distraktor war, negatives Priming entstehen konnte. Dieses Beispiel scheint einen wiederabrufbasierten Prozess im Sinne des Episodic-Retrieval-Ansatzes zu unterstützen. DeSchepper und Treisman argumentierten, dass inhibitorische Einflüsse einen derart langen Zeitraum nicht überstehen würden, um noch negatives Priming erzeugen zu können.

1.5.2 Räumlicher Abstand zwischen Zielreiz und Distraktor

Der räumliche Abstand zwischen Ziel- und Distraktor-Stimuli kann ebenfalls zu unterschiedlich großen NP-Effekten führen. Ein geeigneter räumlicher Abstand sollte sicherstellen, dass bei gleichzeitiger Präsentation von Ziel- und Distraktorreiz auch tatsächlich beide Stimuli beachtet werden müssen. Im Experiment von DeSchepper und Treisman (1996) trat, bei einer Darbietung ohne Überschneidung, kein negatives Priming auf. Bei Überschneidung von Ziel- und Distraktorreiz trat negatives Priming auf, da beide Reize durch die Überlappung schwieriger unterscheidbar waren.

Fuentes und Tudela (1992) stellten einen Zusammenhang zwischen negativem Priming und dem räumlichen Abstand der dargebotenen Stimuli fest: Bei einer Trennung der Stimuli unter einem Sehwinkel von mehr als vier Grad trat positives Priming auf, ein NP-Effekt wurde hingegen nur bei einem Abstand von weniger als zwei Grad beobachtet. Allerdings konnte Yee (1991) auch bei einem Abstand von vier Grad negatives Priming feststellen. Fox (1994) variierte ebenfalls den räumlichen Abstand zwischen Zielreiz und Distraktor (0.97, 1.7 und 2.6 Grad). Der geringste Abstand zeigte den größeren NP-Effekt (38 ms verglichen mit 9 ms bei 2.6 Grad). Fuentes und Tudela (1992) sowie Fox (1994) nahmen einen monotonen Abfall des NP-Effekts mit zunehmendem Abstand von Zielreiz und Distraktor an. Eine Erklärung für die vorstehenden Befunde liegt in der räumlichen

Unterscheidbarkeit der Stimuli: Überlappende Stimuli sind perzeptuell schwieriger zu verarbeiten. Die daraus resultierende erhöhte Selektionsschwierigkeit führt zu einer gründlicheren Verarbeitung sowohl des Ziel- als auch des Distraktorreizes, da beide Stimuli im Fokus der Aufmerksamkeit liegen. Ein Stimulus, der gründlicher verarbeitet wird, bildet im Sinne des Episodic-Retrieval-Ansatzes eine ausgeprägtere Gedächtnisspur, die bei Wiederabruf im Probe sofort verfügbar ist, so dass im Konfliktfall stärkeres negatives Priming erzielt werden kann. Aus Sicht des inhibitionsbasierten Ansatzes kann argumentiert werden, dass ein Distraktor zu einem gewissen Grad verarbeitet werden muss, um Inhibition aufzubauen. Der erhöhte Selektionsschwierigkeitsgrad würde hier ebenfalls zu einer ausgeprägteren Hemmung des Distraktors im Probe führen. Stehen Ziel- und Distraktorreiz hingegen weiter auseinander, besteht die Möglichkeit den Zielreiz isoliert zu betrachten, wodurch dem Distraktor nur marginale oder überhaupt keine Beachtung zuteil wird. Infolgedessen entwickelt sich nur eine geringe bzw. gar keine Hemmung: Es ist kaum negatives Priming zu beobachten oder es zeigt sich sogar ein positiver Priming-Effekt.

1.5.3 Kognitive Verarbeitungstiefe

Der überwiegende Anteil der bisherigen Studien zum Negativ-Priming-Effekt basierte auf den perzeptuellen Eigenschaften der verwendeten Stimuli, wobei im Allgemeinen kein hohes kognitives Verarbeitungsniveau vorausgesetzt wird. Daraus folgt auch, dass die zentrale Ebene der Verarbeitung meist unberücksichtigt blieb. Entsprechend der unter Abschnitt 1.4 dargestellten Argumentation sollte sich, bei einer experimentellen Manipulation des NP-Effekts auf dieser Ebene, auch ein stärkeres negatives Priming finden lassen. In diesem Zusammenhang untersuchten Yee et al. (2000), inwieweit sich negatives Priming durch Verarbeitungsanforderungen bei der Selektion des Zielreizes beeinflussen lässt (d. h. perzeptuelle vs. konzeptuelle Verarbeitung). Auf der konzeptuellen Verarbeitungsebene (z.B.: das größere Tier benennen; eine Zahl als gerade bzw. ungerade einstufen und ihre Teilbarkeit durch 3 beurteilen) zeigte sich in der Tat ein größerer NP-Effekt im Vergleich zur perzeptuellen Verarbeitungsebene (das rote Wort benennen). Auf der perzeptuellen Ebene ergab sich ein NP-Effekt von 8 ms, auf der konzeptuellen Ebene hingegen von 116 ms. Eine tiefere Verarbeitung bei der Auswahl des Zielreizes führte zu einer erhöhten Aufmerksamkeit gegenüber dem Prime-Distraktor. Diese erhöhte Aufmerksamkeit und die damit assoziierte kognitive Information vergrößerte im Probe die Interferenz zum Zielreiz. Der Distraktor im Prime muss demnach nicht ignoriert werden, um negatives Priming zu erzeugen. Diese Schlussfolgerung stimmt mit Befunden von

Wood und Milliken (1998) überein: Sie konnten negatives Priming nachweisen, wenn die Prime-Distraktoren studiert statt ignoriert wurden. In einer anderen Untersuchung boten MacDonald, Joordens und Seergobin (1999) ihren Probanden Stimulus-Paare mit Tiernamen dar, wobei ein Größenvergleich der Tiere vorgenommen werden musste, d. h. sowohl Ziel- als auch Distraktorreiz sollten konzeptuell verarbeitet werden. Durch die tiefere kognitive Verarbeitung vervierfachte sich der NP-Effekt auf etwa 100 ms.

1.6 Bisherige elektrokortikale und neuroanatomische Befunde

Die bisherige Betrachtung des NP-Effekts und der experimentellen Manipulationsmöglichkeiten erfolgte auf der „klassischen“ experimental-psychologischen Ebene, die Änderungen des Verhaltens über die Erfassung von Reaktionszeiten und Fehlern beschreibt. Parallel dazu wurden einige wenige elektrophysiologische bzw. neuroanatomische Untersuchungen des NP-Effekts durchgeführt. Nachfolgend werden bisherige Forschungsergebnisse hierzu vorgestellt. An dieser Stelle soll aber deutlich darauf hingewiesen werden, dass eine Verallgemeinerung dieser Befunde schwierig ist. Gerade elektrophysiologische Kennwerte stehen meist in einem engen Zusammenhang mit den genauen Versuchsmodalitäten, so dass bei der Interpretation solcher Befunde stets auf das verwendete Paradigma zu verweisen ist.

Wagner, Cohen und Rockstroh (1995) erfassten die ereigniskorrelierten Potenziale (EKPs) bei visueller Darbietung von Stimuluspaaren. Präsentiert wurde jeweils ein Distraktor („x“) und ein Zielreiz („o“) an zwei von vier möglichen Positionen. In den EKPs der Negativ-Priming-Bedingung, in der Prime-Distraktor und Probe-Zielreiz am selben Ort dargeboten wurden, zeigte sich ein kleinerer parietal gelegener positiver Komplex im Vergleich zur Kontrollbedingung (Zeitfenster: ab 300 ms). Eine fronto-zentrale positive langsame Verschiebung wurde nur in der Positiv-Priming-Bedingung beobachtet, d.h. bei identischem Präsentationsort für Prime- und Probe-Zielreiz. Aus diesen Befunden schlossen Wagner et al. (1995), dass negatives Priming Stimulus-Evaluationsprozesse erschwert.

Wagner und Hoenig (1999) führten zwei weitere Experimente durch: In Experiment 1 sollten die Probanden die Position eines Buchstabens („o“) benennen, der an einer von vier Positionen auftrat, und dabei gleichzeitig einen Distraktor („x“) ignorieren. In der Negativ-Priming-Bedingung verlängerten sich die Reaktionszeit und die P300-Latenz, diese beiden Effekte korrelierten signifikant miteinander. Des Weiteren vergrößerte sich die N2pc-Amplitude an posterior-lateralen Elektroden. Die N2pc hat sich auch in anderen Experimenten als sensitiv gezeigt,

für die Anzeige von Unterschieden im visuellen Diskriminationsschwierigkeitsgrad zwischen Aufgaben (Eimer, 1996). Die Unterschiede in der N2pc-Komponente sollten allerdings im speziellen Kontext des räumlichen negativen Primings gewertet werden. Befunde aus anderen Studien zeigen, dass diese Unterschiede speziell dann auftreten, wenn innerhalb einer visuellen Suche schnelle Wechsel der Aufmerksamkeit erforderlich sind (Woodmann & Luck, 1999). Wenn zum Beispiel in einem Untersuchungsparadigma definierte Positionen verwendet werden, und damit schnelle Wechsel der Aufmerksamkeit gar nicht oder nur manchmal notwendig sind, lässt sich diese Komponente nicht registrieren.

In Experiment 2 sollten die Probanden die Identität einer von zwei Zahlen benennen, die in unterschiedlichen Farben links und rechts von einem Fixierkreuz dargeboten wurden. Die Positionierung des Probe-Zielreizes erfolgte randomisiert. Ein identitätsbasierter Negativ-Priming-Effekt blieb aus. Bei Wiederholung der Distraktorposition ergab sich allerdings ein hochsignifikanter NP-Effekt. Die P1-Amplitude war reduziert. Wie in Experiment 1 war die N2pc-Amplitude durch räumliches negatives Priming vergrößert. Diese Daten legen nahe, dass räumliches negatives Priming die Stimulusselektion beeinträchtigt, was im Sinne des inhibitorischen Erklärungsansatzes ist.

Kathmann und Mitarbeiter untersuchten den Einfluss, den die gleichzeitige Präsentation von Zielreiz und Distraktor, als Bestandteil einer Figur hat (Bogdahn & Kathmann, 1998; Kathmann, Bogdahn, Nolde, & Engel, 1999). In der Negativ-Priming-Bedingung hatten Prime-Distraktor und Probe-Zielreiz eines von zwei Merkmalen gemeinsam (Farbe/Position, Form/Position, Farbe/Form). Es ergab sich ein NP-Effekt von 12 bis 29 ms. Die EEG-Potenziale dieser Bedingung waren durch eine erhöhte negative Amplitude an den frontalen Elektroden gekennzeichnet (Zeitfenster: 240 bis 300 ms). Die Autoren erklären diese ausgeprägte Amplitude mit motorischer Inhibition im Sinne eines NoGo-Prozesses. Diese Interpretation unterstützt die Episodic-Retrieval-Hypothese eher als die inhibitorische Sichtweise, trotz der Inhibition: Die Reaktionsgeschwindigkeit verzögert sich zumindest teilweise aufgrund des Wiederabrufs einer konkurrierenden Stimulus-NoGo-Assoziation. Ein gewisser Anteil einer inhibitorischen Komponente an der Verlängerung der Reaktionszeit kann aber nicht ausgeschlossen werden. Des Weiteren zeigte sich eine reduzierte P300-Amplitude mit verlängerter Latenzzeit infolge des NP-Effekts. Ein weiterer Befund war eine reduzierte N180 an temporo-occipitalen Ableitorten, sobald die Position ein Zielreiz-Merkmal war.

Die Befunde von Fleischer, Naumann und Buchner (2000) für eine semantische

Kategorisierungsaufgabe mit Substantiven scheinen allerdings im Widerspruch zu den Ergebnissen von Kathmann et al. (1999) zu stehen. Ein grüner oder blauer Punkt vor Darbietung eines Substantivs gab an, welches der dargebotenen Wörter beachtet werden sollte. Neben der verlängerten Reaktionszeit zeigte sich in der NP-Bedingung eine verstärkte frontale P300-Amplitude. Zu beachten ist hier die Verwendung unterschiedlicher Stimuli und Aufgaben im Vergleich zwischen den Studien.

Steel et al. (2001) waren die ersten, die negatives Priming im Hinblick auf kortikale Aktivität mit der Methode der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT) untersuchten. Sie boten den Probanden den Stroop-Farbwort-Test in drei Bedingungen dar: Interferenz, positives Priming und negatives Priming. In der Negativ-Priming-Bedingung waren gleich mehrere Areale besonders aktiviert (linker Temporallappen, mediale temporale Regionen, linker und rechter inferiorer Parietallappen, linker und rechter Frontallappen/präfrontaler Kortex). Aus dieser Untersuchung wird deutlich, dass es sich äußerst schwierig gestaltet, ein konkretes neuroanatomisches Korrelat zum negativen Priming zu finden, da verschiedene Hirnareale involviert sind. Außerdem war die Stichprobe extrem klein (vier Männer und drei Frauen im Alter zwischen 22 und 30 Jahren), was zusätzliche Probleme bei der Verallgemeinerung dieser Ergebnisse aufwirft.

Der große Vorteil der fMRT-Methode besteht darin, die Lokalisation der an kognitiven Vorgängen beteiligten Areale genau bestimmen zu können. Der Nachteil der Methode liegt in der hohen zeitlichen Unschärfe (1-4 Sekunden), mit der die Aktivierung der Areale im Verlauf einer Aufgabe vorgenommen wird. So ist eine derart breite Aktivierung, wie sie von Steel et al. (2001) gemessen wurde, nicht ungewöhnlich in einem Paradigma der kognitiven Verarbeitung. In diesem Zusammenhang können diese Befunde auch als ein möglicher Beleg für die unter Abschnitt 1.4 dargelegte Hypothese dienen: Es ist möglich, dass sich der NP-Effekt in unterscheidbare Teilprozesse aufspalten lässt, die zu verschiedenen Zeiten und auf unterschiedlichen Ebenen der kognitiven Verarbeitung stattfinden.

Auch wenn hier nur wenige Beispiele zu elektrophysiologischen bzw. neuroanatomischen Korrelaten dargestellt wurden, sollte dennoch die Heterogenität der Befunde, sowie deren Abhängigkeit vom jeweiligen experimentellen Paradigma deutlich geworden sein. Aus dieser Problematik leitet sich auch der Anspruch ab, der an eine EEG-Untersuchung des negativen Primings gestellt werden muss, wenn die Ergebnisse einen Beitrag zum Verständnis der Wirkungsmechanismen geben sollen, der über die Beschreibung

eines speziellen Paradigmas hinaus geht: Die Verarbeitung der Stimuli sollte auf einer inhaltlichen, also konzeptuellen Ebene erfolgen und die einzelnen kognitiven Ebenen nach Möglichkeit bestimmt werden können. In der vorgelegten Arbeit wurde daher auch die zeitliche Bestimmung der kognitiven Aktivität in einem NP-Paradigma besonders berücksichtigt. Die erhöhte Anforderung, im Hinblick auf die Interpretation der Ergebnisse, erforderte auch eine differenzierte Auswahl der Analysemethoden. Dem hierdurch begründeten Anspruch wurde durch die Verwendung einer visuellen Analysemethode, die die Veränderungen über verschiedene Durchgänge innerhalb einer Bedingung und zwischen den Bedingungen gewichten kann, Rechnung getragen.

2. Experiment 1

2.1 Theoretische Einführung

Ausgangspunkt der Überlegungen zum Paradigma des Experiments 1 waren Studien, in denen berichtet wurde, dass bei paarweiser Darbietung von Zahlen, die Addition dieser Zahlen in Gestalt der Summenziffer automatisch mitaktiviert wird. Diese Aktivierung erschwert dann im weiteren Verlauf die korrekte Ausführung, der an die Probanden gestellten Aufgabe, z.B. die Wiedererkennung einer Zahl in sequentiell dargebotenen Zahlenpaaren (LeFevre, Bisanz, & Mrkonjic, 1988; LeFevre & Kulak, 1994; Zbrodoff & Logan, 1986). Der mathematische Vorgang der Addition scheint insgesamt in einem starken assoziativen Zusammenhang mit dem verwendeten Stimulusmaterial Zahlen bzw. Ziffern zu stehen. Des Weiteren kann in Versuchen mit Kindern ein automatisches Weiterzählen innerhalb bekannter Abzählfolgen beobachtet werden. Beispielsweise wird die Zahl 3 häufig wiedergegeben, wenn man Kindern in einem Experiment die Ziffern 1...2 als Zahlenpaar darbietet (Siegler & Shrager, 1984). Auf diese experimentellen Beobachtungen gründeten Stadler et al. (2001) folgende Arbeitshypothese: Wenn die obligatorische Aktivierung einer dritten Zahl in Gestalt einer Summenziffer, und die automatische Ergänzung der nächstgrößeren natürlichen Zahl, bei Darbietung zweier geeigneter Zahlen gegeben ist, dann lässt sich aus diesen Bedingungen eine weitere experimentelle Manipulation zur Generierung des Negativ-Priming-Phänomens gestalten.

Hierzu teilt man die Präsentation der Zahlenpaare wie gewohnt in einen Prime- und einen Probe-Durchgang auf, mit der Maßgabe, dass die im Primedurchgang automatisch mitaktivierte Information, also die Summe oder die nächstgrößere natürliche Zahl, zur korrekten Beantwortung der Aufgabe in diesem Durchgang gehemmt werden muss und dann im Probe zum Zielreiz der Aufgabe wird.

Im Hinblick auf eine EEG-Untersuchung des negativen Primings sollten grundlegende methodische Aspekte berücksichtigt werden, die auf einer Verbindung zwischen elektrophysiologischen Korrelaten und der Art und Weise der experimentellen Darbietung beruhen. Bei kurzen Reaktionszeiten (<1000 ms) können sich die mit der kognitiven Verarbeitung assoziierten Potenziale, und die mit der direkten Ausführung der Antwort in Verbindung stehenden motorischen Potenziale, überlagern. Daher ist es sinnvoll die entsprechenden Potenzialbereiche des EEG durch eine geeignete experimentelle Darbietung zu entzerren (Garcia-Larrea & Cezanne-Bert, 1998). Gerade wenn, wie im Falle des negativen Primings im Experiment 1, kognitive Prozesse untersucht werden sollen, deren zeitliches Auftreten nicht genau bekannt ist, ist es wichtig einen relativ

großen Zeitbereich im EEG aufzuzeichnen, der durch die Verarbeitung der Stimuli geprägt ist. Die in einem solchen Zeitbereich aufgezeichneten Signale und die daraus resultierenden Komponenten des EEG können in der anschließenden Analyse eindeutig unter dem Blickwinkel der kognitiven Verarbeitung analysiert werden.

Eine weitere Problemstellung ergibt sich aus der Tatsache, dass im Allgemeinen in EKP-Untersuchungen Reaktionen auf einzeln dargebotene Stimuli abgeleitet werden. Für das negative Priming jedoch ist die Gegenwart eines Distraktorreizes simultan mit dem Zielreiz anscheinend konstitutiv (Wagner, 1997). Im Gegensatz zu „gewöhnlichen“ EKP-Untersuchungen werden in den experimentellen Paradigmen, die einen NP-Effekt hervorbringen, zwei Stimuli gleichzeitig präsentiert, der Zielreiz und der Distraktor. Beide Stimuli müssen bis zu einem bestimmten Grad verarbeitet werden, damit der Effekt einer verlangsamten Reaktion im Probe beobachtet werden kann. Die frühen Potenziale des EEG (bis etwa 200 ms) repräsentieren die Enkodierung des Stimulusmaterials. Sie sind damit sensitiv für geringe Unterschiede in der Art der Präsentation und für unterschiedliche Stimuli. Grundsätzlich ist es daher für die Konzeption einer EEG-Studie vorteilhaft, ein Paradigma zu wählen, das mit einer möglichst geringen Anzahl von Stimuli den gewünschten Effekt generiert. Auf Grund der überschaubaren Anzahl der Reiz-Reaktions-Verbindungen lassen sich die möglichen elektrophysiologischen Korrelate nahezu eindeutig interpretieren.

Ein weiterer kritischer Parameter einer EEG-Untersuchung liegt in der Gesamtzeit, die für die Durchführung des Experiments benötigt wird. Diese Zeit setzt sich dabei aus der eigentlichen Dauer der Aufgabe und der Vorbereitung der Probanden für die EEG-Messung zusammen. Zwei Faktoren beeinflussen dabei die benötigte Zeit im besonderen Maße. Zum einen wird in einer EEG-Untersuchung eine hohe Anzahl von Wiederholungen der einzelnen Bedingungen und Stimuli benötigt. Zum anderen gilt, je mehr Elektroden für die Aufzeichnung verwendet werden, desto höher ist der Zeitaufwand in der Vorbereitungsphase. Während dieser Zeit beschäftigt sich der Proband nicht mit der eigentlichen Aufgabe, die Konzentration bzw. Motivation wird aber dennoch beeinflusst. Gerade wenn die Aufgabe eine bestimmte kognitive Anstrengung verlangt, gilt es hier einen vertretbaren Konsens zwischen Versuchsdauer und Aufgabenschwierigkeit zu finden. Die für die eigentliche Aufgabe benötigte Zeit kann zum Beispiel durch die Länge der Pausen zwischen den einzelnen Durchgängen variiert werden.

Ausgehend von diesen Überlegungen, schien das im Folgenden in Anlehnung an Michael Stadler et al. (2001) durchgeführte Experiment 1, eine elegante Methode zu sein, diese theoretischen Überlegungen zu berücksichtigen. Hier wurden insgesamt nur sechs Zahlen als Stimuli verwendet, deren Kombinationsmöglichkeiten aber dafür sorgten, dass die an die Probanden gestellte Aufgabe nicht zu einfach war.

2.2 Ziel des Experiments 1

Das Ziel des Experiments 1 war es, zunächst den von Stadler et al. (2001) gefundenen NP-Effekt zu replizieren. Das zugrunde liegende Paradigma sollte dabei in ein neues Design überführt werden, das sich für die Darbietung in einem späteren EEG-Versuch eignet.

Weiterhin war die Frage zu klären, ob sich bei einer Präsentation von Zahlenpaaren die Assoziationsprozesse, Bilden von Zahlenfolgen und die Bildung einer Summe der präsentierten Zahlen, tatsächlich einstellen, und ob diese Prozesse mit der Aufgabe interferieren und so eine Verzögerung in den Reaktionszeiten hervorbringen. Diese Interferenz, zwischen automatisch mitaktivierten kognitiven Prozessen bzw. Wissensinhalten, und der tatsächlichen Aufgabe, sollte dann als NP-Effekt in den aufgezeichneten Reaktionszeiten nachweisbar sein.

2.3 Methoden

2.3.1 Versuchspersonen

Insgesamt nahmen 44 Personen, je 22 Männer und Frauen, am Experiment 1 teil. 14 der Probanden waren Studenten der Universität Wuppertal, die als Teil ihrer Pflichtstunden für das Vordiplom an der Untersuchung teilnahmen, sowie 30 Studenten der Universität Düsseldorf, die freiwillig und ohne Bezahlung teilnahmen. Das mittlere Alter der Probanden betrug 24.32 ± 2.55 Jahre. Männer und Frauen unterschieden sich hinsichtlich des Alters nicht.

2.3.2 Versuchsplan

Das Versuchsdesign beruht auf einem 2x5 Versuchsplan mit Messwiederholung auf beiden Faktoren. Die unabhängigen Variablen waren der Messzeitpunkt (Prime vs. Probe) und die fünf, durch die Primingbedingungen gegebenen experimentellen Bedingungen, die in der Probe-Darbietung auf ihre Wirkung hin überprüft wurden (Füllbedingung, Zählen, Zählen-Kontrolle, Addition, Addition-Kontrolle; siehe auch Tabelle 1). Als abhängige Variable wurde die Reaktionszeit der Probanden auf die Darbietung der Zahlenpaare registriert. Zusätzlich wurde

noch die Fehlerzahl, also die Anzahl nicht korrekter oder nicht schnell genug bearbeiteter Durchgänge ermittelt. Betrug die Fehlerrate mehr als fünf Prozent wurde die betreffende Person von der weiteren Analyse ausgeschlossen. Insgesamt wurden nach diesem Kriterium acht der Probanden von der Auswertung ausgeschlossen.

2.3.3 Material und Versuchssteuerung

Als Stimuli wurden Zahlenpaare verwendet, die sich aus den Ziffern der Grundmenge {1, 2, 3, 4, 5, 6} zusammensetzten. Das verwendete Zahlenmaterial wurde dabei derart kombiniert, dass sich zwischen den Paaren von Stimuli, die im Prime und Probe präsentiert wurden, mehrere zusammenhängende, oder - in einer jeweils dazu gehörigen Kontrollbedingung - nicht assoziierte Beziehungen ergaben. Die folgende Tabelle 1 stellt alle im Experiment realisierten Bedingungen, sowie deren Kontrollbedingungen an jeweils einem Beispiel dar. Die Füllbedingung diente dabei der allgemeinen Kontrolle der Reaktionszeiten der experimentellen Bedingungen und der Ablenkung.

Tabelle 1:

Die verschiedenen Präsentationsbedingungen der Zahlenpaare aufgeschlüsselt nach dem Zusammenhang der sich zwischen der Darbietung des Prime- und Probedisplays ergeben sollte. In den beiden Kontrollbedingungen sind die Probe-Stimuli identisch zur Experimentalbedingung, aber ähnlich wie in der Füllbedingung sind Prime und Probe nicht miteinander assoziiert.

BEDINGUNG	Prime	Probe
Füllbedingung	2 3	5 6
Kennzeichen	Prime und Probe sind nicht miteinander assoziiert.	
	Prime	Probe
Zählen	2 3	6 4
Kennzeichen	Die rechte Ziffer des Probe-Displays ergibt sich wenn man die Ziffern des Prime-Displays <i>weiterzählt</i> 2..3.. 4	
Zählen-Kontrolle	1 5	6 4
	Prime	Probe
Addition	1 3	5 4
Kennzeichen	Die rechte Ziffer des Probe-Displays ergibt sich wenn man die Ziffern des Prime-Displays <i>addiert</i> : $1 + 3 = \mathbf{4}$	
Addition-Kontrolle	2 6	5 4

Die sechs verwendeten Ziffern ergaben vier möglichen Zählen-Folgen {Prime, **Probe**: 1..2, **X**..3; 2..3, **X**..4; 3..4, **X**..5; 4..5, **X**..6} die gleichhäufig verwendet wurden. Die linke, hier nicht gezeigte Zahl (**X**) des oben fettgedruckten Probe bestand jeweils aus einer zufällig gewählten Ziffer, die im vorangegangenen

Prime noch nicht gezeigt worden war. Die entsprechenden Kontrollbedingungen der Zähl-Folgen waren im Probe identisch. In der zugehörigen Primebedingung wurde jeweils die rechte Zahl (Flanker) ausgetauscht, so dass sich kein inhaltlicher Zusammenhang, bezüglich Addition und Abzählen, zwischen Prime und Probe ergeben konnte. Die vier Zählen-Folgen wurden je achtmal verwendet, so dass 32 Zählen-Bedingungen im Experiment dargeboten wurden.

Insgesamt ließen sich 15 verschiedene, im Prime verwendete Kombinationen finden, deren Addition die rechte Zahl der Probe-Displays ergaben {1..1, 1..2, 1..3, 1..4, 1..5, 2..1, 2..2, 2..3, 2..4, 3..1, 3..2, 3..3, 4..1, 4..2, 5..1}. Jede dieser Addition-Kombinationen wurde zweimal verwendet. Die entsprechenden Probedisplays bestanden dementsprechend aus dem Target, der Zahl die die arithmetische Summe der Prime-Ziffern darstellte, sowie einer unmittelbar vorher nicht gezeigten Ziffer, als Distraktor. Die zugehörigen Addition- Kontrollbedingungen wurden aus den 30 Addition-Couplets gebildet, in dem die Distraktorziffer der Prime-Displays durch eine andere Ziffer des Grundmaterials ausgetauscht wurde. Die Ziffer wurde dabei nach den Gesichtspunkten ausgewählt, dass sich in Kombination mit dem Probe keine neue Addition- oder Zählen-Bedingung ergeben sollte. Die 236 Couplets, die als Fülldurchgänge für den gesamten Versuch dienten, wurden zufällig erzeugt. Hier war die einzige Auflage, dass sich kein inhaltlicher Zusammenhang zwischen Prime und Probe ergeben durfte.

Tabelle 2:

Die absolute Anzahl der generierten Zahlenpaare, geordnet nach den jeweiligen Bedingungen.

BEDINGUNG	Prime	Probe
Füllbedingung	236	236
Zählen	32	32
Zählen-Kontrolle	32	32
Addition	30	30
Addition-Kontrolle	30	30

Entsprechend der Original Arbeit von Stadler et al. (2001) wurden insgesamt 360 Prime-Probe Kombinationen verwendet. Die Tabelle 2 listet die absolute Anzahl der jeweiligen Bedingungen auf, die sich aufgrund der vorgestellten Kombinationsmöglichkeiten ergaben.

2.3.4 Versuchsdurchführung

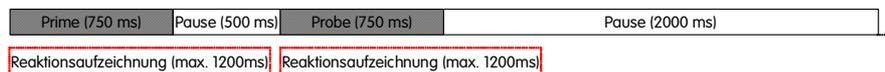
Die Versuchsperson hatte die Aufgabe jeweils die rechte Zahl des präsentierten Zahlenpaares eines jeden Durchgangs als Ziel auszuwählen. Die VP war in der Instruktion aufgefordert worden, diese Aufgabe so schnell und so genau wie

möglich durchzuführen. Die Stimuli wurden für die Dauer von 750 ms gezeigt. Die dem Zielreiz entsprechende Taste des numerischen Tastaturblocks der Computertastatur sollte dann betätigt werden, innerhalb von 1200 ms nach dem Ausblenden der Stimuli. Nach einem anschließenden ISI von 500 ms, in der nur der schwarze Hintergrund zu sehen war, wurde dann das nächste Zahlenpaar eingeblendet. Wenn innerhalb der 1200 ms nach dem Ausblenden eines Zahlenpaares keine Reaktion erfolgte, wurde der entsprechende Durchgang als Fehler gewertet. Die Abbildung 1 zeigt schematisch die Abfolge der Präsentation eines Couplets. Während die Intervalle zwischen Prime und Probe bei Stadler et al. (2001) eine fixe Länge aufweisen, waren die Prime-Probe Abstände im Experiment 1 abhängig von der Reaktionsgeschwindigkeit der Probanden. Nachdem Durchlauf eines Prime-Probe-Paares, wurde im Experiment 1 mit einem zeitlichen Abstand von 500 ms das nächste Couplet präsentiert. Im Versuch von Stadler betrug die Pausen zwischen den Couplets 2000 ms. Die Pausenlänge wurde in der Darstellung des Experiments 1 verkürzt, um in einem späteren EEG-Versuch die Gesamtlänge des Versuchs trotz einer hohen Anzahl von Wiederholungen in einem akzeptablen Bereich zu halten.

Experiment 1



Stadler et al. (2001)



Zeit →

Abbildung 1:

Der Zeitverlauf des Experiments 1 und der Originalarbeit (Stadler et al., 2001). Im Gegensatz zur Originalarbeit sollten die Probanden des Experiments 1 erst reagieren, nachdem die Stimuli ausgeblendet worden waren. In beiden Experimenten betrug die maximalen Zeiffenster, in denen eine Antwort gewertet bzw. registriert wurde 1200 ms.

Jeder Durchgang, sowohl im Testteil als auch in den Experimentalblöcken, bestand aus der Präsentation eines Zahlenpaares auf dem PC-Monitor. Abbildung 2 (Seite 24) zeigt die verwendeten Schriftgrößen und Schwinkel, sowie den Abstand zwischen VP und Bildschirmoberfläche, der für alle Personen nachgemessen wurde und einheitlich 70 cm betrug.

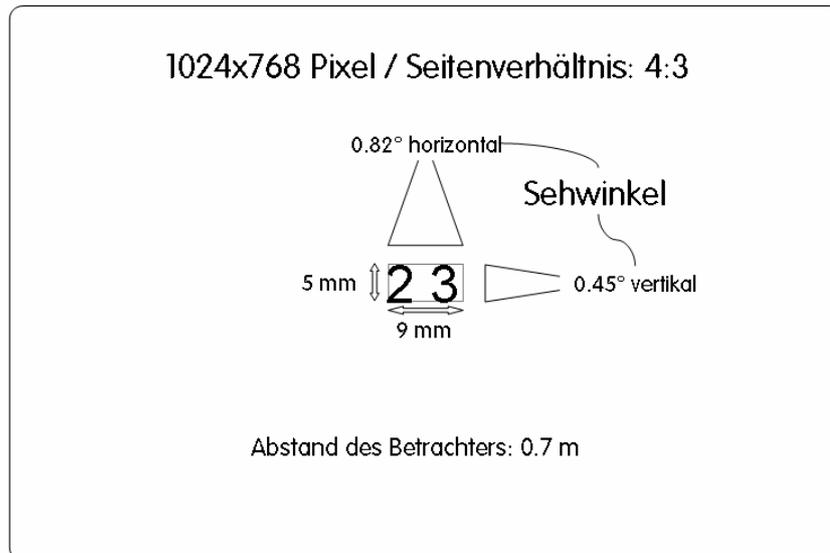


Abbildung 2:

Schematische Darstellung, sowie Größenangaben zum 17" Bildschirm, auf dem die Stimuli des Experiments 1 präsentiert wurden.

Die Zuordnung der Finger der rechten Hand zu den entsprechenden Tasten des numerischen Tastatur-Blocks erfolgte, wie in dem in Abbildung 3 gezeigten Schema: Zeigefinger (1,4), Mittelfinger (2,5), Ringfinger (3,6). Die Probanden wurden instruiert, die Finger während der Versuchsdurchführung unterhalb der drei Tasten {1, 2, 3} des numerischen Tastaturblocks ruhen zu lassen. Diese Zuordnung wurde bei allen Probanden kontrolliert und gegebenenfalls nach der Testphase des Versuchs korrigiert.



Abbildung 3:

Der numerische Zahlenblock der für die Aufzeichnung der Reaktion der Probanden verwendeten Computertastatur, und die Zuordnung der Finger der rechten Hand. Die Probanden waren instruiert worden, während des Versuchs die Finger (Zeige-, Mittel- und Ringfinger) direkt unterhalb der unteren drei Tasten (1, 2, 3) ruhen zu lassen.

Zur Versuchsdurchführung nahm die VP an einem Tisch Platz, auf dem sich ein 17"-PC Monitor und eine Computer-Tastatur befanden. Zuerst erfolgte die Instruktion für den Versuch in schriftlicher Form, wobei jede Versuchsperson gebeten wurde, bei eventuellen Unklarheiten bezüglich der Aufgabe noch einmal nachzufragen. Nachdem die VP die Instruktion gelesen hatte begann der Testteil des Experiments. Zur Gewöhnung an die Versuchsprozedur wurden jeweils 20 Couplets präsentiert, deren Reaktionszeiten nicht in die Auswertung eingingen. Die Probanden erhielten in diesem Teil des Versuchs eine schriftliche Rückmeldung über die Güte ihrer Reaktion. Auf dem PC-Monitor wurden dazu bei Betätigung einer Antworttaste die Bezeichnungen „falsch“, „richtig“, zu früh oder „zu spät“ eingeblendet. Die Stimuli der Testphase waren im Voraus zufällig aus dem gesamten Präsentationsmaterial gezogen worden und für alle Probanden identisch. Nach der Testphase konnten die Probanden noch einmal Fragen zum Versuch stellen, anschließend wurden die Experimentalblöcke des Versuchs präsentiert. Die Probanden wurden zu keinem Zeitpunkt auf den Zusammenhang der Zahlenpaare hingewiesen.

Der gesamte Versuch wurde mit fünf unterschiedlichen Darbietungsreihenfolgen der Couplets durchgeführt. In den Experimentalblöcken des Versuchs erfolgte nach je 60 präsentierten Couplets eine Pause, die vom Probanden durch einen Druck auf die ENTER-Taste (Abbildung 3) der Computer-Tastatur beendet werden konnte. Anschließend erfolgte die Präsentation des nächsten Stimulusblocks. Das gesamte Experiment wurde in einer schallisolierten Kammer unter künstlicher Beleuchtung durchgeführt. Eine der Lichtquellen (diffuser Deckenreflektor) befand sich schräg links hinter dem Präsentationsmonitor, so dass für den gesamten Versuchszeitraum eine für den Probanden subjektiv angenehme Beleuchtung gegeben war.

2.3.5 Auswertung

Zunächst wurden die Reaktionszeiten ungültiger und/oder nicht korrekter Trials ausgesondert. Als im Sinne der Aufgabe nicht korrekte Antwort wurde hier, sowohl der Druck auf eine falsche Taste, als auch eine zu langsame Reaktion (>1200 ms) gewertet. Die gültigen Reaktionszeiten wurden anschließend der Größe nach über alle Versuchspersonen innerhalb einer Versuchsbedingung sortiert, dann wurde das 95% Quantil der jeweiligen Verteilung bestimmt und als Ausschluss-Kriterium für die weitere Ermittlung der deskriptiven Kennwerte Bedingung festgesetzt. Reaktionszeiten, die unter 100 ms lagen wurden ebenfalls nicht berücksichtigt. Die Bereinigung der Reaktionszeitdaten um die oberen 5%

der Verteilung erfolgte hier in Anlehnung an die Befunde der Untersuchungen zur Addition von Groen und Parkman (1972). Nach ihren Ergebnissen kann es zu Abruffehlern bei der Beantwortung von Additionsproblemen kommen, so dass ein zeitlich langsamerer Zählprozess eingesetzt werden muss, um die Aufgabe korrekt zu beantworten. Die Höhe dieser Fehler wird auf ca. 5% der Anzahl der Trials eines Versuchs geschätzt. Auch wenn ein Additionsprozess für das Experiment 1 nur vermutet wurde, ist es sinnvoll, die weitere Analyse mit bereinigten Reaktionszeitdaten durchzuführen (siehe auch Miller, Perlmutter, & Keating, 1984), da sich so ein besserer Schätzer des NP-Effektes berechnen lässt. Abschließend wurde jeweils der individuelle Median der Reaktionen über die verschiedenen Bedingungen gebildet. Aus diesen Kennwerten wurden dann zur Charakterisierung der Gruppe arithmetische Mittelwerte und Standardfehler berechnet.

Der Einfluss der experimentellen Variation auf das Verhalten (Reaktionszeit und Fehler) wurde mit einer multivariaten Varianzanalyse statistisch geprüft (MANOVA, SPSS 10.0, einfaktorielles Design mit Messwiederholung auf dem Faktor Bedingung). In allen Fällen werden die Ergebnisse für die Pillai-Spur Prüfgröße berichtet.

Der Nachweis bzw. die Überprüfung eines NP-Effekts erfolgte durch den statistischen Vergleich einer Kontrollbedingung mit der entsprechenden experimentellen Bedingung. In den Fällen, in denen Mehrfach-Einzelvergleiche berechnet wurden, werden die Ergebnisse ausschließlich α -adjustiert berichtet (Korrektur nach Bonferroni-Holm; Holm, 1979).

2.4 Ergebnisse des Experiments 1

2.4.1 Fehlerraten

Die Fehlerraten, der in der Auswertung berücksichtigten Probanden lagen im Mittel unter 1.8%, ohne signifikante Unterschiede zwischen den Bedingungen. Insgesamt zeigte sich, dass nur eine einzige Person gar keinen Fehler machte.

2.4.2 Reaktionszeiten: NP-Effekt

Die mittleren Reaktionszeiten und Standardfehler über alle Versuchspersonen für die Probe-Darbietung sind in Abbildung 4 dargestellt. Die mittlere Reaktionszeit unter der Zählen-Bedingung betrug 353 ms. Die entsprechende Reaktionszeit unter der Zählen-Kontrolle-Bedingung lag bei 379 ms. Es zeigte sich demnach keine verlangsamte Reaktion in der Experimentalbedingung gegenüber der Kontrollbedingung. Die mittlere Reaktionszeit unter der Addition-Bedingung

betrug 369 ms, während die unter der Addition-Kontrolle-Bedingung registrierte Reaktionszeit 367 ms betrug. In beiden experimentellen Bedingungen konnte im Vergleich mit den Kontrollbedingungen kein NP-Effekt registriert werden.

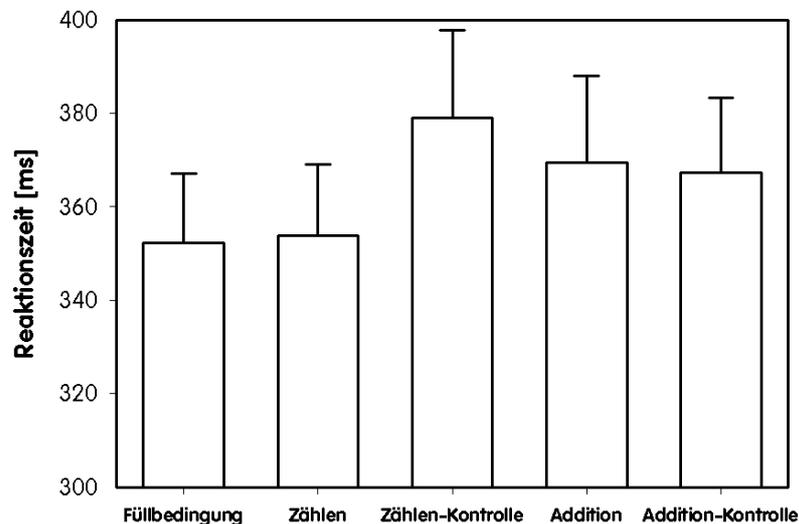


Abbildung 4:
Mittlere Reaktionszeiten und Standardfehler für die fünf Versuchsbedingungen des Experiments 1 (n = 36).

2.5 Diskussion

2.5.1 Einordnung der Resultate

Das generelle Fazit lautet, dass sich in den mittleren Reaktionszeiten des Experiments 1 im Vergleich zwischen den Bedingungen kein negatives Priming nachweisen ließ. Es schien daher nicht sinnvoll, das grundlegende Paradigma sowie das verwendete Design in irgendeiner Form zu erweitern. Im Folgenden wird versucht eine Erklärung für das Ausbleiben eines NP-Effekts zu geben.

2.5.2 Einfluss der Aufgabe und fehlende Aktivierung

Die Ergebnisse des Experiments 1 lassen in erster Linie darauf schließen, dass die von Stadler et al. (2001) beobachtete automatische Aktivierung, entweder gar nicht oder zumindest nur in einem nicht ausreichenden Maße stattgefunden hat. Die Gründe hierfür sind vermutlich im Kontext der Aufgabenstellung des Experiments 1 zu suchen.

LeFevre, Bisanz und Mrkonjic (1988) berichteten, dass Probanden zwei gleichzeitig präsentierte Zahlen addieren, auch wenn diese Leistung nicht Gegenstand der an sie gestellten Aufgabe ist. Des Weiteren stellen die Autoren dar, dass eine einfache arithmetische Operation, wie sie die Addition oder Summenbildung darstellt, auch dann ausgeführt wird, wenn das Additionszeichen (+) nicht explizit

als Stimulus dargeboten wird (hierzu auch Miller, Perlmutter, & Keating, 1984). In der Arbeit von LeFevre und Kollegen (1988) bestand die Aufgabe der Probanden darin, in einem Probe-Durchgang zu beurteilen, ob die dort gezeigte Ziffer in einem zuvor als Prime präsentierten Zahlenpaar, gezeigt worden war oder nicht. Items, in denen der Probe die Summe des zuvor gezeigten Paares war, wurden mit einer deutlich verlängerten Reaktionszeit als falsch klassifiziert, im Vergleich zu Probe-Darbietungen, die mit dem Prime nicht-assoziierte Zahlen zeigten. Die in dieser Studie dargestellten mittleren Reaktionszeiten betragen zwischen 700 ms und 900 ms, je nachdem welcher zeitliche Abstand zwischen dem Ausblenden der Prime-Stimuli und dem Einblenden des Probe verwendet wurde. Diese sogenannte Stimulus-Onset-Asynchrony (SOA) wurde in der LeFevre-Studie ebenfalls in fünf Stufen von 60 ms bis 480 ms variiert, wobei sich zeigte, dass der bei 180 ms beobachtete maximale Verzögerungseffekt bei einer SOA von 480 ms nicht mehr auftrat. Sieht man einmal von den verschiedenen Bedingungen der SOA ab und betrachtet nur die Ergebnisse der 480 ms Bedingung, also einer Bedingung, die mit den in Experiment 1 verwendeten Parametern vergleichbar ist, unterscheidet sich der Ansatz von LeFevre in einem grundsätzlichen Punkt von dem hier vorgelegten Experiment 1: Die Instruktion besagt deutlich, dass auf den Prime Stimulus keine Reaktion erfolgen soll. Die präsentierten Ziffern sind, bis zum Abruf im Probe, in einem mentalen Speicherzustand festzuhalten. Man kann in diesem Fall annehmen, dass durch den dazu notwendigen kognitiven Verarbeitungsschritt insgesamt eine tiefere Verarbeitung gegeben ist, und somit auch die automatische Aktivierung der Summation länger wirken kann. Im Sinne einer heuristischen Formulierung wäre diese Aufgabe also anstrengender als die im vorgelegten Experiment 1 und der Stadler-Studie präsentierte Aufgabe.

Nach Neil und Westberry (1987) besteht, nach der Beantwortung einer Aufgabe, keine Notwendigkeit mehr, die zur Beantwortung notwendigen Wissensinhalte im Kurzzeitgedächtnis zu behalten. Für die Aufgabe des Experiments 1 bedeutet diese Überlegung konkret, dass nach einer Beantwortung der Aufgabe, sowohl im Prime als auch im Probe keine Notwendigkeit bestand, die aktivierten überschüssigen Informationen weiterhin zu verwenden. Diese Annahme würde darüber hinaus auch eine fehlende Aktivierung der Information des Prime-Distraktors im Probe erklären, und damit auch das Ausbleiben eines NP-Effekts begründen.

Die in der Spreading-Activation Theorie für semantische Verarbeitungsschritte (Collins & Loftus, 1975) postulierten Mechanismen, die eigentlich aktiv sein sollten (Stadler et al., 2001), schienen in der Durchführung des Experiments 1 keine

Wirkung zu zeigen. In dieser Theorie, die unter anderem auch eine der Grundlagen von Ashcrafts (1983, 1987) Theorie zu Abruf und Repräsentation arithmetischer Fakten darstellt, geht man davon aus, dass nicht nur die durch eine spezifische Aufgabe direkt angesprochenen Speicherzellen aktiv sind, sondern auch benachbarte Zellen automatisch mitaktiviert werden. Je größer dabei der Zusammenhang zwischen verschiedenen Aufgaben oder Konzepten ist, desto geringer ist die räumliche Nähe der in der Theorie postulierten Speicherzellen, und desto leichter kann eine Aktivierung auf benachbarte Speicherinhalte überspringen (Baddeley, 2001). Stadler et al. (2001) hatten vermutet, dass diese Mechanismen unter anderem den NP-Effekt in ihrer Studie ausgelöst hatten. Bei der Präsentation von Zahlenpaaren könnte demnach das Wissen über weitere Zusammenhänge zwischen den präsentierten Stimuli aktiviert werden. Idealerweise sollte dies, ähnlich wie bei der hochautomatisierten Lesefähigkeit, die dem Stroop-Effekt zugrunde liegt, auch funktionieren, wenn nicht konkret nach weiteren Zusammenhängen gefragt wird. Die Ergebnisse des Experiments 1 scheinen diese Hypothese zumindest für die verwendete Aufgabe nicht zu bestätigen.

Generell besteht in der Literatur ein Konsens darüber, dass die Lösung von arithmetischen Aufgaben und hier speziell Additionsaufgaben, auf einer Mischung aus Gedächtnisabruf und Rechenprozeduren basiert. Einfache Additionsaufgaben, wie sie zum Beispiel LeFevre et al. (1988) benutzt haben, und die auch durch die Stimuli des Experiments 1 induziert werden sollten, können fast ausschließlich mit Speicherzugriffen, also dem Abruf fertiger Lösungen bewältigt werden. Wie bereits dargestellt wurde, kann es bei solchen Aufgaben auch zu Fehlern im Gedächtnis-Abruf kommen, die dann durch Zählprozesse kompensiert werden müssen, die sich in entsprechend längeren Reaktionszeiten niederschlagen. Insgesamt lässt sich an dieser Stelle festhalten, dass zur vollständigen Aktivierung der mit einem Stimulus assoziierten Speicherzellen eine bestimmte Stärke der Verarbeitung gegeben sein muss. Es ist also durchaus möglich, dass die im Experiment 1 realisierte Aufgabe diese Verarbeitungsstärke gar nicht oder nur teilweise erreicht hat.

2.5.3 Individuelle Unterschiede der Aktivierung

Die automatische Aktivierung scheint nur stattzufinden, wenn die eigentliche Aufgabe ein bestimmtes Maß an kognitiver Aktivierung auslöst. Diese Annahme impliziert auch die Abhängigkeit der Aktivierung von individuellen mathematischen Fähigkeiten. Nur wenn der entsprechende Proband auch

tatsächlich die für einen Effekt notwendigen Speicherinhalte besitzt, bzw. sich diese Informationen auch in zusammenhängenden Speicherareale befinden, kann der Effekt eintreten.

Die Arbeit von LeFevre und Bisanz (1986) zur Erklärung individueller Unterschiede in der Bearbeitung von Rechenaufgaben greift ebenfalls auf den Erklärungsansatz effektiver bzw. nicht effektiver Speicherzugriffe zurück. Demnach gibt es einen Zusammenhang zwischen der Leistung in Aufgaben, die arithmetische Operationen erfordern, und der Fähigkeit, in einer präsentierten Reihe von Zahlen die zugrunde liegende Struktur zu entdecken. In diesen Zahlenreihenproblemen sollen auf der Grundlage einer zu identifizierenden Struktur nicht dazugehörige Ziffern erkannt werden. Je effizienter nun die auf Erfahrung und Lernen beruhenden assoziativen Netzwerke sind, desto besser und schneller kann die anstehende Aufgabe gelöst werden. LeFevre und Bisanz (1986) demonstrierten in ihrer Arbeit auch, dass sich die Gruppe der Probanden, entsprechend der Leistung in einem Zahlenreihentest, in zwei Subgruppen unterteilen lässt (Subtest aus Lorge-Thorndike-Intelligence Test, Lorge & Thorndike, 1957). Die Klassifizierungen der Subgruppen (niedrige Fertigkeit vs. hohe Fertigkeit) zeigte dabei einen hohen Zusammenhang mit allgemeinen arithmetischen Leistungen. Auf Basis der in Experiment 1 gemessenen Reaktionszeiten bzw. den Differenzen zwischen den individuellen Medianen für Experimental- und Kontrollbedingung lassen sich die Probanden ebenfalls in Subgruppen einteilen. Die Einteilung basiert dabei auf der Überlegung, dass der Nachweis eines NP-Effekts auch durch einen Vergleich der Reaktionszeiten zwischen den beiden Bedingungen Zählen und Addition mit den entsprechenden Kontrollbedingungen durchgeführt wurde. Abbildung 5 (Seite 31) stellt die berechneten Differenz-Werte dar.

Ein möglicher NP-Effekt für die gesamte Gruppe der Probanden kann nur nachgewiesen werden, wenn der überwiegende Anteil der Differenzen (Experimentalbedingung - Kontrolle) positive Werte aufweist, d.h. eine langsamere Reaktion in der Experimentalbedingung gemessen wurde. Abbildung 5 zeigt deutlich, dass für den Vergleich zwischen Zählen und Zählen-Kontrolle die Mehrzahl der mittleren Reaktionszeitdifferenzen im negativen Bereich lag, die Probanden also im Durchschnitt schneller auf die Präsentation der experimentellen Bedingungen reagierten, als auf die Präsentation der Kontrollbedingung. Zudem wiesen die negativen Differenzen, die auf einen positiven Priming-Effekt hindeuten, größere Werte auf, so dass insgesamt, als Gruppen-Mittelwert, eine um 26 ms schnellere Reaktion in der Zählen Bedingung erreicht wurde. Die größte positive Differenz, also ein dem negativem Priming

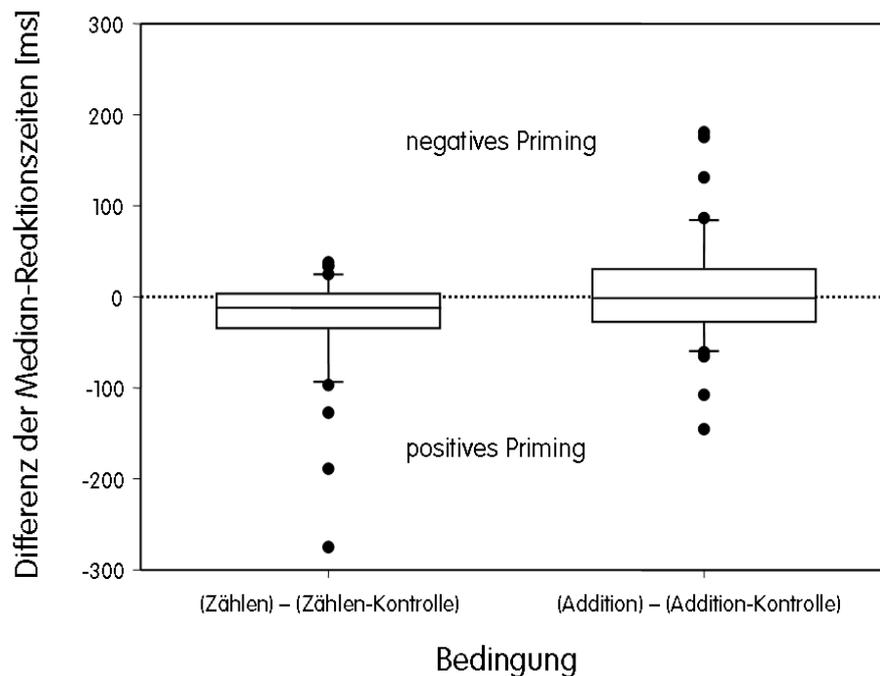


Abbildung 5:

Whiskers-Box-Plot der Differenzen zwischen den Reaktionszeiten für die Bedingungen Zählen und Addition mit den entsprechenden Kontrollbedingungen {(Zählen) - (Zählen-Kontrolle), (Addition) - (Addition-Kontrolle)}, berechnet über die einzelnen Versuchspersonen. Die Ober- und Untergrenze der um den Median gezogenen Begrenzung gibt das 25% sowie das 75% Quantil wieder. Nach unten und oben aufgetragene Fehlerbalken markieren das 10% sowie das 90% Quantil. Die schwarzen Punkte zeigen Werte für diejenigen Reaktionszeitdifferenzen, die sich außerhalb dieser Schranken befinden. Werte die oberhalb der gestrichelten 0-Linie liegen weisen auf eine langsamere Reaktion im Probe, ähnlich einem NP-Effekt, hin.

ähnlicher Effekt, betrug nur 38 ms. Nur 11 von 36 Personen zeigten einen solchen schwach ausgeprägten Effekt. Das heißt, dass nur etwa ein Drittel der Probanden eine Reaktionszeit in Richtung des gewünschten Effekts zeigte. Ein ähnliches Bild ergab sich für den Vergleich der Addition-Bedingung mit der Addition-Kontrolle. Insgesamt zeigten hier 15 von 36 Personen einen NP-ähnlichen Effekt. 21 Probanden wiesen hingegen einen Effekt in Richtung positives Priming auf.

In beiden Fällen genügte die Anzahl an Personen, denen ein NP-ähnlicher Effekt zugeordnet werden kann, aber nicht für einen statistisch signifikanten Effekt. Dass die Anzahl der Probanden in einer derart klassifizierten Subgruppe so gering ist, liegt dabei vermutlich wiederum am Kontext der an sie gestellten Aufgabe. Die Probanden mussten in der Durchführung des Experiments 1 annehmen, dass es sich um eine Aufgabe handelt, bei der die Schnelligkeit und Genauigkeit der Reaktion Priorität hat. In allen Arbeiten, die sich mit der kognitiven Leistung in Rechenaufgaben befassen, d.h. die konkret zu erbringende Leistung, liegt der

Fokus der Aufmerksamkeit aber immer eindeutig auf der arithmetischen Leistungsfähigkeit. Die in Experiment 1 erzielten Ergebnisse und Differenzierungen können als ein extremer Test zur Messung genau dieser arithmetischen Leistungsfähigkeit gesehen werden: Nur solche Personen, deren arithmetische Netzwerke effizient arbeiten, können auch eine Reaktion im Sinne eines negativ Priming-Effekts auf die präsentierten Stimuli zeigen. Nur bei diesen Personen würde die kognitive Aktivierung ein kritisches Niveau erreichen, dass die automatische Aktivierung assoziierter Wissensinhalte ermöglicht.

2.6 Fazit des Experiments 1

Die Ergebnisse des Experiments 1 legen nahe, dass ein kritischer Punkt für das Entstehen eines Negativ-Priming-Effekts in der Realisierung einer für die Probanden anspruchsvollen Aufgabe liegt. Eine anspruchsvolle Aufgabe sollte genau dann gegeben sein, wenn eine bestimmte mentale Verarbeitungstiefe des Prime-Distraktors erreicht wird, so dass die aus der erhöhten Aufmerksamkeit resultierende Interferenz zwischen Prime und Probe überhaupt wirken kann und somit auch durch einen NP-Effekt in den Reaktionszeiten nachweisbar ist. Aus den Befunden des Experiments 1 lässt sich schließen, dass eine Aufgabe verwendet werden sollte, deren Priming-Effekt nicht von speziellen Fähigkeiten der Probanden abhängig ist. Die Stärke mit der ein Prime-Distraktor mit der Darbietung des Probe interferiert, darf daher nicht allein von der Sensibilität der Probanden gegenüber einem vermuteten Phänomen abhängig sein, wie es in dem hier verwendeten Paradigma die Aktivierung von Zähl- und Additionsprozeduren darstellt.

Durch den geänderten Zeitablauf innerhalb der Prime-Probe Relation, also die Änderung des zeitlichen Abstands von 2000 ms auf 500 ms war wahrscheinlich auch der direkte Bezug innerhalb eines Couplets beeinflusst worden bzw. nicht mehr im ausreichenden Maße, wie bei Stadler gegeben. Während in der Arbeit von Stadler et al. (2001), durch die stärkere zeitliche Trennung zwischen den sukzessiv präsentierten Couplets, der assoziative Zusammenhang innerhalb eines Couplets betont wurde, fehlte dieser wahrscheinlich in der Darbietung des Experiments 1. Insgesamt war es aber wichtig diese Veränderung vorzunehmen um das grundsätzliche Paradigma an eine Durchführung in einem EEG-Versuch anzupassen. Die große Anzahl von Wiederholungen der Stimuli einer bestimmten Bedingung, die zur Berechnung der EKP-Komponenten benötigt wird, macht eine kürzere Pause zwischen den Couplets notwendig, um die Gesamtdauer des Versuchs in einem für die Probanden erträglichen zeitlichen Rahmen zu halten.

Im weiteren Verlauf der Untersuchungen zum negativen Priming wurde daher versucht, ein experimentelles Paradigma zu finden, dass bei einer überschaubaren Anzahl von Reiz-Reaktionsverbindungen, einen ausreichenden negativen Priming Effekt induzieren kann. Gleichzeitig sollte die experimentelle Durchführbarkeit allen bisher formulierten methodischen Ansprüchen genügen. Das unmittelbare Ziel war es also in der folgenden Untersuchung eine ausreichende Verarbeitungstiefe des Prime-Distraktors zu etablieren.

3. Experiment 2: Voruntersuchung

Eine Arbeit von Yee et al. (2000) zur Verarbeitungstiefe bei der Zielreizselektion im Negativ-Priming-Paradigma schien besonders geeignet zu sein, die bisher herausgestellten Ansprüche an eine EEG-Untersuchung des negativen Primings zu erfüllen. Zum einen waren die berichteten durchschnittlichen Reaktionszeiten ($1000\text{ms} \pm 300\text{ms}$) groß genug, um auch ohne weitere Modifikationen der Präsentationsparameter die beabsichtigte Trennung von perzeptuellen und motorischen Komponenten leisten zu können. Zum anderen war der NP-Effekt hier, ähnlich wie in der Originalarbeit von Stadler et al. (2001), auf der Basis einiger weniger Stimuli (8 Zahlen) nachgewiesen worden. Somit schienen hier insgesamt die gleichen günstigen Voraussetzungen bezüglich der Reiz-Reaktionsverbindungen zu gelten. Zur Überprüfung des Paradigmas wurde zuerst eine Replikation der Studie von Yee et al. (2000) durchgeführt.

3.1 Theoretische Einführung

Die Aufgabe der Probanden bestand darin Zahlen zu klassifizieren (ja vs. nein), in dem die Teilbarkeit eines Zielreizes durch die Zahl drei (ohne Rest) überprüft werden sollte. Hierzu wurde jeweils ein Zahlenpaar präsentiert, das aus einer ungeraden und einer geraden Zahl bestand. Bei der Darbietung in der oberen Hälfte eines PC-Monitors sollte auf die ungerade Zahl reagiert werden, bei Darbietung in der unteren Hälfte war die gerade Zahl zu klassifizieren. Yee et al. (2000) unterteilten die Ausführung der Aufgabe in ihren theoretischen Überlegungen in zwei Teilschritte: Zielreiz-Auswahl und Antwort-Auswahl. Der Begriff der Zielreiz-Auswahl soll auf kognitive Prozesse verweisen, die aktiviert werden, um im Verlauf der Aufgabe den jeweiligen Zielreiz auszuwählen. Der Begriff der Antwort-Auswahl bezieht sich auf die kognitiven Prozesse, die nach der Zielreiz-Auswahl mit der konkreten Beantwortung bzw. Lösung der Aufgabe in Verbindung stehen: Hier sollte also die Entscheidung getroffen werden, ob der ausgewählte Zielreiz ohne Rest durch drei teilbar ist. Yee et al. (2000) argumentierten, dass durch die Entscheidung über die Eigenschaft „gerade vs. ungerade“ auf der Stufe der Zielreiz-Auswahl, auch der Distraktor eine tiefere Verarbeitung erfährt, und dadurch eine größere Interferenz zum Zielreiz des Probe ausgelöst wird.

Eine erhöhte Verarbeitungstiefe führt auch zu größeren Priming-Effekten, dies wurde für Arbeiten nachgewiesen, die sich mit dem Effekt des positiven Primings beschäftigen (Henik, Friedrich, & Kellogg, 1983). Die größeren Priming-Effekte wurden dabei auf eine erhöhte Aktivierung der mentalen Repräsentation der

Stimuli zurückgeführt (Yee et al., 2000). Diese Aktivierung soll eine direkte Folge selektiver Aufmerksamkeitsprozesse darstellen. Yee und Kollegen formulierten die Hypothese, dass dieser Effekt nicht nur für positives Priming gelten könnte, sondern dass eine erhöhte Aktivierung auch eine größere Interferenz produzieren könnte, die dann in einem entsprechend proportionalen NP-Effekt nachweisbar sei. Diese Annahme stützt sich dabei auf die Zielreiz-Selektions-Hypothese, die besagt, dass der Einfluss, den die erhöhte Verarbeitungstiefe auf den NP-Effekt hat, nur auf der Stufe der Zielreiz-Auswahl nachgewiesen werden kann (Houghton & Tipper, 1994), da die Auswahl der Antwort erst nach der Identifizierung eines Zielreizes erfolgt. Auf der Stufe der Antwortauswahl kann normalerweise der Distraktor vollständig ignoriert werden, da er zur Beantwortung der Aufgabe nicht mehr notwendig ist (Neill & Westberry, 1987). Die Größe des NP-Effektes sollte daher von der Stärke der Distraktor-Aktivierung abhängig sein, die durch die Zielreiz-Auswahl im Prime gegeben ist.

Insgesamt bot sich, entsprechend diesen Überlegungen eine kontrollierte Unterteilung der Reizverarbeitung in eine Phase der Zielreizauswahl und eine Phase der Reaktions- / Antwortauswahl an. Wenn diese Aufteilung schon in der eigentlichen Aufgabe implementiert werden kann, dann sollten sich auch die mit dem negativen Priming assoziierten Prozesse innerhalb der Aufgabe besser differenzieren lassen.

3.2 Ziel der Voruntersuchung

Das Ziel der Voruntersuchung war es zunächst die von Yee et al. (2000) berichteten Befunde bezüglich der Reaktionszeiten zu replizieren. Es sollte also die Frage geklärt werden, ob sich bei einer tieferen kognitiven Verarbeitung der Distraktorreize, die durch eine erhöhte selektive Aufmerksamkeit für die präsentierten Stimuli gegeben sein sollte, ein NP-Effekt nachweisen lässt.

3.3 Methoden

3.3.1 Versuchspersonen

An der Voruntersuchung nahmen 20 Psychologie Studenten der Universität Wuppertal teil, als Teil ihrer Pflichtstunden für das Vordiplom (10 Männer, 10 Frauen). Für die Teilnahme an dieser Untersuchung wurde den Studenten je eine Versuchspersonenstunde anerkannt. Das Alter der Probanden lag zwischen 22 und 32 Jahren (23.93 ± 3.78). Männer und Frauen unterschieden sich hinsichtlich des Alters nicht.

3.3.2 Material und Versuchssteuerung

Als Stimulusmaterial dienten acht Zahlen aus den folgenden Kategorien:

- ungerade und durch 3 teilbar (3, 9)
- ungerade und nicht durch 3 teilbar (7, 11)
- gerade und durch 3 teilbar (6, 12)
- gerade und nicht durch 3 teilbar (4, 8)

Es wurde stets eine gerade mit einer ungeraden Zahl gepaart, wobei diese Paarungen über den gesamten Versuch vollständig permutiert wurden, so dass jede Zahl gleich oft erschien. Die Prime-Probe-Couplets wurden so arrangiert, dass sie sich gleichmäßig auf die folgenden vier Bedingungen verteilten:

- Attend: Der Zielreiz der Prime- und Probe-Darbietung war identisch, d.h. es fand kein Wechsel der Bildschirmhälfte vom Prime- zum Probe-Stimuluspaar statt. Erwartet wurde hier eine beschleunigte Reaktion, im Verhältnis zu einer Kontrollbedingung.
- Attend-Kontrolle: Kontrolle zur Attend-Bedingung, ohne Wechsel der Bildschirmhälfte. Prime und Probe waren inhaltlich nicht miteinander verbunden.
- Ignore: Der Distraktor des Prime-Displays wurde im Probe zum Zielreiz. Hier wurde ein NP-Effekt erwartet, der sich in einer verlängerten Reaktion auf den Probe zeigen sollte. Vom Prime zum Probe wechselte die Bildschirmhälfte in der die Stimuli präsentiert werden.
- Ignore-Kontrolle: Kontrolle zur Ignore-Bedingung, mit Wechsel der Bildschirmhälfte. Prime und Probe waren dabei inhaltlich nicht verbunden.

In der Abbildung 6 (Seite 37) sind Beispiele zu den vier Bedingungen dargestellt. Es ist hierbei anzumerken, dass in den inhaltlich verbundenen Bedingungen (Attend und Ignore) die Zahl, die als Zielreiz vorgesehen war (fett gedruckt), innerhalb eines Couplets sowohl rechts als auch links präsentiert werden konnte. Die verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten dieses Parameters waren über alle Bedingungen ausbalanciert.

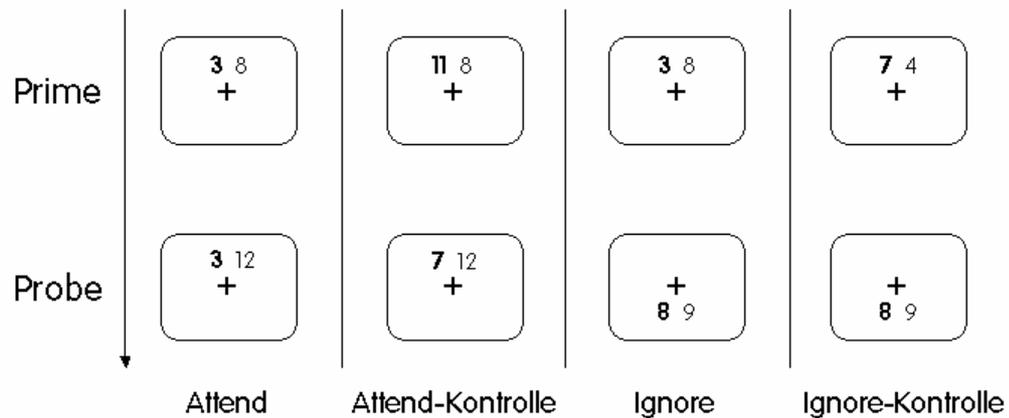


Abbildung 6:

Darstellung der vier möglichen Prime – Probe Kombinationen, mit je einem Beispiel Couplet. Der jeweilige Zielreiz ist fett gedruckt hervorgehoben.

3.3.3 Versuchsplan

Für die Reaktionszeiten der Voruntersuchung wurde ein 2x3x2 Versuchsplan mit Messwiederholung auf allen Faktoren verwendet. Der erste Faktor war der Zeitpunkt der Messung (Prime vs. Probe), der zweite Faktor war die Bedingung (Attend, Attend-Kontrolle, Ignore, Ignore-Kontrolle). Der dritte Faktor war die Antworthand der Aufgabe (rechts = ja vs. links = nein).

Als abhängige Variable wurde die Reaktionszeit der Probanden auf die Darbietung der Zahlenpaare registriert. Zusätzlich wurde noch die Fehlerzahl, also die Anzahl nicht korrekt bearbeiteter Durchgänge ermittelt. Wenn die Fehlerrate mehr als fünf Prozent betrug wurde die betreffende Person von der weiteren Analyse ausgeschlossen. Alle Probanden des Vorversuchs wurden nach diesem Kriterium in der Auswertung berücksichtigt.

3.3.4 Versuchsdurchführung

Jeder Durchgang bestand aus der Präsentation eines Zahlenpaares in der oberen oder unteren Bildschirmhälfte. Die Versuchsperson hatte die Aufgabe die Teilbarkeit ohne Rest eines Zielreizes zu beurteilen. Der Divisor war die Zahl drei. Wenn das Zahlenpaar in der oberen Bildschirmhälfte gezeigt wurde, sollte der Proband die ungerade Zahl beachten und die Teilbarkeit beurteilen. Bei Einblendung des Zahlenpaares in der unteren Bildschirmhälfte war die gerade Zahl zu beachten und deren Teilbarkeit zu überprüfen.

Abbildung 7 (Seite 38) stellt schematisch die verwendeten Schriftgrößen und daraus resultierende Sehwinkel dar. Der nachgemessene, einheitliche Abstand

der Probanden zum PC-Monitor betrug 70 cm. Wie bereits in Experiment 1 dargestellt wurde, war auch hier der räumliche Abstand zwischen den Ziffern eines Paares so gewählt worden, dass nicht der Eindruck einer einzigen mehrstelligen Zahl entstehen konnte.

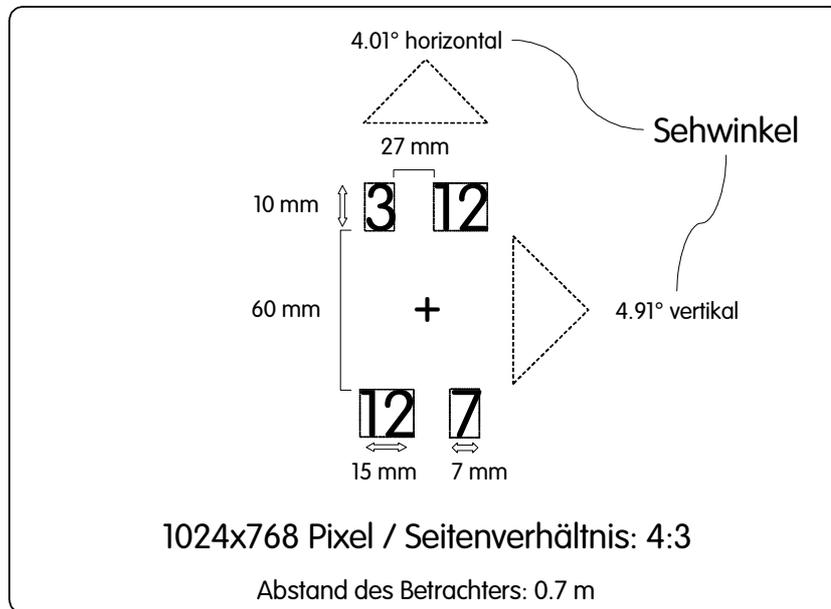


Abbildung 7:

Schematische Darstellung, sowie Größenangaben zum 19" Bildschirm, auf dem die Stimuli des Vorversuchs präsentiert wurden.

Zur Versuchsdurchführung setzten sich die Versuchspersonen an einen Tisch, auf dem sich ein 19" Computer-Monitor und eine Computer-Tastatur befanden. Die Antwort (ja vs. nein) erfolgte durch einen Tastendruck. Für „Ja“ wurde die linke „Y“-Taste gedrückt (versehen mit einer roten Markierung), für „Nein“ die rechte „_“-Taste (versehen mit einer blauen Markierung). Die Probanden wurden gebeten, während des Experiments die Zeigefinger beider Hände auf den markierten Tasten der Computer-Tastatur ruhen zu lassen, um so schnell wie möglich reagieren zu können. Gleichzeitig sollte damit sichergestellt werden, dass Bewegungs- und Augenartefakte in den Messstrecken eines späteren EEG-Versuchs minimiert wurden. Die Dauer des Experiments betrug durchschnittlich 30 Minuten, je nach Reaktionsgeschwindigkeit des Probanden und der selbst gewählten Länge der Pausen.

Jeder Durchgang begann mit der Einblendung eines Fixationskreuzes in der Bildschirmmitte für die Dauer von 500 ms, gefolgt von der Darbietung eines

Zahlenpaares. Jedes Zahlenpaar wurde so lange dargeboten, bis eine Reaktion erfolgte, d. h. es wurde kein fester Reaktionszeitraum vorgegeben. 500 ms nach der Reaktion erfolgte die Darbietung des nächsten Zahlenpaares. Es wurden 40 Übungsdurchgänge und 512 Auswertungsdurchgänge präsentiert. Die Auswertungsdurchgänge unterteilten sich in acht Blöcke zu je 64 Durchgängen. Der Zeitverlauf des Experiments ist in Abbildung 8 exemplarisch für ein Couplet dargestellt.

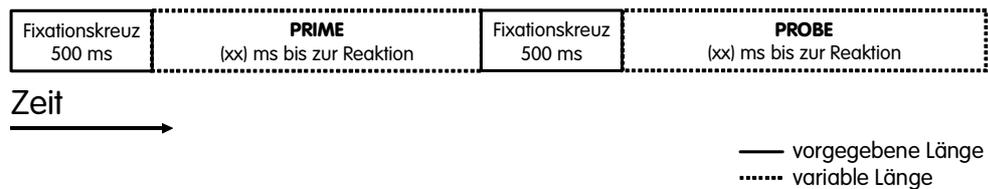


Abbildung 8:
 Zeitverlauf der Stimulus-Präsentation für ein Prime – Probe Couplet.

Das gesamte Experiment fand in einem 7,75 m² großen, schallisolierten und klimatisierten Labor statt.

3.4 Auswertung

Zunächst wurden die Reaktionszeiten nicht korrekter Probe-Trials ausgesondert. Die gültigen Reaktionszeiten wurden anschließend der Größe nach über alle Versuchspersonen sortiert, dann wurde das 95% Quantil der jeweiligen Versuchsbedingung bestimmt und als Ausschluss-Kriterium für die weitere Ermittlung der deskriptiven Kennwerte der Verteilung festgesetzt. Abschließend wurden die Mediane der Reaktionen auf die verschiedenen Bedingungen gebildet. Über diese Kennwerte wurden dann zur Charakterisierung der Gruppe arithmetische Mittelwerte und Standardabweichungen gebildet. Die individuellen Mediane wurden mit einer multivariaten Varianzanalyse (SPSS 10.0) statistisch geprüft. Die Dimension der Antworthand wurde zusammengefasst, da die inferenzstatistische Auswertung der Reaktionszeiten keinen signifikanten Einfluss der Antworthand im Probe ergab.

Bei sämtlichen Analysen wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % für die zweiseitige Fragestellung zugrundegelegt. Die inferenzstatistischen Ergebnisse werden entsprechend den in Experiment 1 (Abschnitt 2.3.5) erläuterten Konventionen berichtet.

3.5 Ergebnisse

Die mittleren Reaktionszeiten und Standardfehler der Probe-Darbietung für die verschiedenen Versuchsbedingungen der Voruntersuchung sind in Abbildung 9 dargestellt.

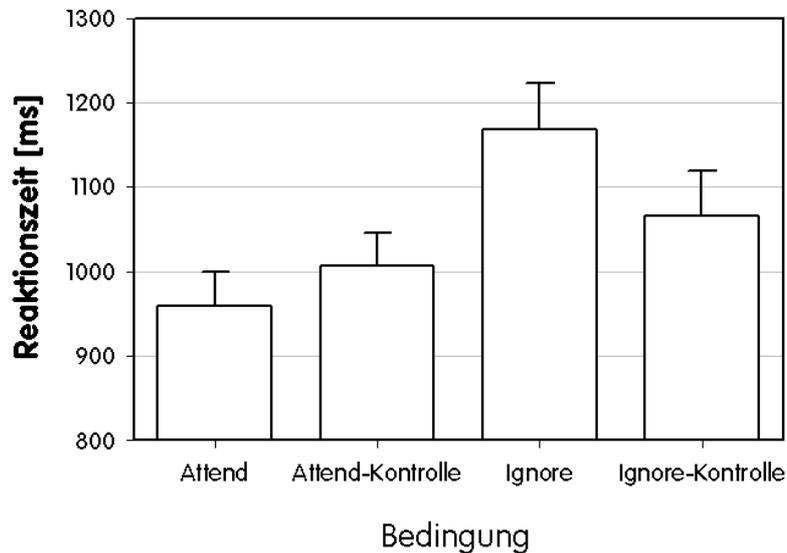


Abbildung 9:
Graphische Darstellung der mittleren Reaktionszeiten für die Probedurchgänge des Vorversuchs ($n = 20$). Als Fehlerbalken ist der Standardfehler aufgetragen.

Die mittlere Reaktionszeit unter der Ignore-Bedingung betrug 1168 ms und die Reaktion unter der Kontrollbedingung lag bei 1065 ms. Es zeigte sich ein NP-Effekt von 103 ms. Die Reaktionszeit unter der Attend-Bedingung lag mit 958 ms unter der für die Attend-Kontrolle-Bedingung gemessenen mittleren Reaktionszeit von 1007 ms. Damit erfolgte die Reaktion im Mittel 49 ms schneller unter der Attend-Bedingung.

Die Fehlerraten waren insgesamt niedrig mit leicht erhöhten Werten für die Ignore Bedingung. Der mittlere Wert betrug hier 2.7%, gefolgt von der Attend-Kontrolle-Bedingung mit 2.3% und der Ignore-Kontrolle mit 1.9%. Die wenigsten Fehler wurden mit 1.5% in der Attend-Bedingung gemacht.

Die varianzanalytische Überprüfung der Effekte zeigte einen signifikanten Haupteffekt Bedingung ($F(3,17) = 17.438$, $p \leq 0.0005$, Pillai-Spur = 0.687). Beide Einzelvergleiche zwischen Experimental- und Kontrollbedingung waren signifikant, mit $p \leq 0.0005$ für den NP-Effekt und $p = 0.002$ für positives Priming. Die Unterschiede in den Fehlerraten waren nicht signifikant.

3.6 Diskussion der Voruntersuchung

Die Ergebnisse der Voruntersuchung zeigten einen signifikanten NP-Effekt. Im Mittel waren die Reaktionen in der Ignore-Bedingung der durchgeführten Untersuchung mehr als 100 ms langsamer als die Reaktionen auf die Darbietung der Stimuli in der Kontrollbedingung. Dabei entsprach die Größenordnung dieser Werte dem NP-Effekt, der von Yee et al. (2000) berichtet wurde.

Der Befund, dass eine erhöhte kognitive Verarbeitung auch einen größeren NP-Effekt produziert, ist konsistent mit den Ergebnissen von Milliken und Kollegen (Milliken & Joordens, 1996; Milliken et al., 1998). Das explizite Ignorieren eines Distraktors stellt demnach keine notwendige Voraussetzung für negatives Priming dar. Yee et al. (2000) argumentierten weiterhin, dass eine tiefere Verarbeitung auf der Stufe der Zielreiz-Auswahl die Entscheidung darüber, ob ein Distraktor ignoriert werden soll oder nicht solange verzögert, bis genügend Informationen dafür vorliegen, diesen tatsächlich ignorieren zu können. Die Ergebnisse der Voruntersuchung wiesen mit einem NP-Effekt, von mehr als 100 ms, der deutlich über den üblichen Werten von 15-30 ms lag, ebenfalls in diese Richtung.

Die Zielreiz-Auswahl-Hypothese (Houghton & Tipper, 1994; Houghton, Tipper, Weaver, & Shore, 1996), die vorhersagt, dass negatives Priming durch die aktive Hemmung der Verarbeitung ignorierte Information entsteht, wird durch die in der Voruntersuchung gemessenen Reaktionszeiten unterstützt. Die Stärke mit der die Hemmung auftritt hängt wiederum von der ursprünglichen Aktivierung ab, die der Distraktor ausgelöst hat. Wie Yee et al. (2000) folgerichtig argumentierten, sind durch eine derartige Verbindung von initialer Aktivierung und Stärke der Inhibition, die Zielreiz-Auswahlprozesse der Probe-Darbietung im besonderen Maße betroffen: Je höher die Stärke der Inhibition ist, desto größer ist auch der Grad der Interferenz im Verhältnis zu einer Bedingung, deren Distraktor-Aktivierung schwächer war. Das resultierende Phänomen ist messbar in einem höheren NP-Effekt. Yee und Kollegen hatten in ihrer Arbeit gezeigt, dass die Hypothese der auf die Distraktor-Aktivierung des Prime bezogenen Interferenz, auch für die Verwendung von Zahlen-Stimuli gelten kann. Die in der Voruntersuchung berichteten Ergebnisse sind insofern konsistent mit den Befunden der Originalarbeit.

Die Theorie zur zeitlichen Unterscheidbarkeit (Milliken et al., 1998) beschreibt einen NP-Effekt als Folge der Interaktion zwischen den kognitiven Verarbeitungsschritten, die während der Enkodierung eines Stimulus und der

Generierung einer Reaktion aktiv sind. Demnach entsteht negatives Priming dann, wenn innerhalb eines, auf einem Gedächtnisabruf basierten Entscheidungsprozesses, entschieden werden muss, ob eine alte Information zur Handlung genutzt werden kann, oder eine neue Handlungsalternative berechnet werden muss. In den typischen experimentellen NP-Bedingungen wird dieser Prozess gezielt beeinflusst. Die Information aus dem Prime charakterisiert den Zielreiz des Probe als einen Stimulus der zum einen bekannt ist und auf den zum anderen keine Reaktion erfolgen soll. Die aus der Probe-Darbietung resultierende Information besagt aber, dass auf diesen Stimulus reagiert werden muss.

Dem Temporal-Discrimination-Modell zur Folge muss daher der Zielreiz des Probe auch kognitiv als ein neuer Stimulus charakterisiert werden. Wenn der Prime-Distraktor bereits vor der Aufgabe im Probe eine erhöhte Aktivierung ausgelöst hat und die betreffende kognitive Information ebenfalls aktiviert wurde, muss daraus in der Verarbeitung des Probe ein erheblicher Widerspruch resultieren (Wood & Milliken, 1998). Diese Gegebenheiten treffen für die in der Voruntersuchung realisierten Versuchsbedingungen im besonderen Maße zu. Der Distraktor des Prime war immer Bestandteil der Zielreizauswahl, und sollte als solcher auch immer die Generierung widersprüchlicher Informationen im Probe begründen.

Besonders hervorzuheben ist, dass in den Ergebnissen der Voruntersuchung auch ein signifikanter positiver Priming-Effekt gemessen werden konnte: Die Probanden reagierten im Durchschnitt 47 ms schneller auf die Darbietung der Zahlenstimuli unter der Attend-Bedingung, im Vergleich zur Attend-Kontrolle-Bedingung. Yee et al. fanden allerdings nur eine um 11 ms langsamere Reaktion unter der Attend-Bedingung, im Vergleich zur Kontrollbedingung.

Das Phänomen des positiven Primings wird mit kognitiven Prozessen in Verbindung gebracht, die zur Ausführung einer Reaktion im Zuge der Beantwortung einer Aufgabe notwendig sind. Die theoretischen Überlegungen hierzu basieren auf der Annahme, dass sowohl negatives als auch positives Priming durch Gedächtnisabruf-Mechanismen beeinflusst werden können (Neill & Kahan, 1999). Nach der Episodic-Retrieval-Theorie (Neill & Valdes, 1992) wird durch die Verarbeitung des Zielreizes im Probe der Abruf der entsprechenden Handlungsinformation des Prime getriggert. Diese Handlungsinformation betrifft die Art und Weise, wie auf diesen Zielreiz zuvor reagiert wurde. Je größer der Grad der Übereinstimmung zwischen Prime- und Probe-Darbietung ist, desto größer ist auch die Wahrscheinlichkeit, dass die entsprechende Handlungsinformation zur Ausführung einer beschleunigten Reaktion genutzt werden kann (Neill, 1997). Wenn allerdings nicht übereinstimmende Informationen

vorliegen, lässt sich negatives Priming finden. Die unterschiedlichen Größenordnungen des positiven und negativen Primings, die in der Voruntersuchung gemessen wurden, lassen allerdings vermuten, dass noch andere kognitive Prozesse in die Generierung von Priming-Effekten involviert sind. Yee et al. (2000) betonten die Wichtigkeit in diesem Zusammenhang auch Stimulus-Enkodierungsprozesse zu beachten. Neuere Übersichtsarbeiten zur Episodic-Retrieval Theorie stützen diese Überlegungen (Neill & Kahan, 1999; Neill & Mathis, 1998). In diesen Arbeiten schlugen Neill und Kollegen vor, dass Priming-Effekte in den Reaktionen unter anderem durch die kognitiven Prozesse erklärbar sind, die während der Verarbeitung der Prime-Stimuli aktiviert werden. In Abhängigkeit von der Relevanz, die eine während der Prime-Darbietung aktivierte Information für die Verarbeitung der Probe-Information hat, findet entweder eine Verstärkung, und damit eine beschleunigte Reaktion, oder eine Interferenz statt. Es ist demnach zum Beispiel vorstellbar, dass die in der vorgelegten Arbeit präsentierten Zahlenstimuli, keine über alle Durchgänge homogene Interaktion zwischen der Prime- und der Probe-Darbietung ausgelöst haben. Ein wesentlicher Bestandteil bei der Konzeption der Stimuli war, dass in der Attend-Bedingung ein identischer Zielreiz sowohl im Prime, als auch im Probe präsentiert wurde. Die Distraktoren der beiden Durchgänge waren allerdings nur hinsichtlich der Kategorie (gerade vs. ungerade) identisch, nicht aber bezüglich der Teilbarkeit. Unter der Annahme, dass aus der Unterschiedlichkeit auch verschiedene kognitive Prozesse resultieren, was auf der Basis der präsentierten Erkenntnisse zur Variabilität der Zahlenverarbeitung (Abschnitt 2.5.2 – 2.5.4) wahrscheinlich ist, lassen sich die gemessenen Reaktionszeiten erklären.

Eine Interpretation der vorliegenden Ergebnisse anhand des inhibitionstheoretischen Ansatzes scheint zunächst einmal an der Voraussetzung dieses Modells, dass Distraktoren ignoriert und folglich gehemmt werden müssen, zu scheitern. Da die Probanden durch die konzeptuelle Aufgabenstellung dazu aufgefordert wurden, die dargebotenen Distraktoren zu studieren und diese nicht zu ignorieren, erscheint es kaum möglich, dass ein Reiz gehemmt wird, der im Zuge von Vergleichs- und Entscheidungsprozessen aktiv verarbeitet werden muss.

An dieser Stelle zeigt sich eine der wesentlichen Beschränkungen eines klassischen Reaktionszeitexperiments: Das grundsätzliche Problem liegt darin, dass zum Zeitpunkt der Antwort der eigentliche Prozess der Informationsverarbeitung bereits abgeschlossen ist. Eine Analyse der einzelnen

Phasen der Informationsverarbeitung ist im Nachhinein nicht mehr möglich. In einem Reaktionszeitexperiment stellt jede der experimentellen Bedingungen eine Art „Black Box“ dar. Für die Beschreibung solcher Parameter wie der Reaktionszeit genügt es die „Außenmaße“ dieser Box in der Dimension der Zeit zu erfassen. Für eine genauere Betrachtung der kognitiven Komponenten, die mit der Informationsverarbeitung verbunden sind, werden jedoch Erkenntnisse über die innere Struktur der Black Box vorausgesetzt. Hierzu wird ein Instrument benötigt, das es gestattet, sowohl den zeitlichen Verlauf der Verarbeitung darzustellen, als auch eine Lokalisation der mit der Lösung einer Aufgabe assoziierten kognitiven Funktionen zu gewährleisten. Die Aufzeichnung und Analyse der elektrokortikalen Spannungsverteilung auf der Kopfoberfläche (EEG) bot sich zur Gewinnung dieser Einsichten an.

4. Experiment 2: EEG-Untersuchung

4.1 Einführung

Das Paradigma von Yee et al. (2000) zeigte in den Ergebnissen des Vorversuchs, den NP-Effekt in der erwarteten Größenordnung. Die gemessenen Reaktionszeiten, lagen ebenfalls in einer Größenordnung, die es erlaubte, die zeitlichen Parameter der Darbietung unverändert in einen EEG-Versuch zu übernehmen.

Zuerst einmal muss der Begriff der erhöhten Verarbeitungstiefe im Hinblick auf die Sensibilität der EEG-Messung, und die Auswahl geeigneter Marker der elektrokortikalen Potenziale weiter differenziert werden. Es ist notwendig Vorhersagen darüber zu treffen, zu welchen Zeitpunkten innerhalb der Verarbeitung der präsentierten Stimuli mit dem Auftreten des NP-Effektes gerechnet wird. In welchen Zeitfenstern soll nach einem NP-Effekt, nachweisbar durch unterschiedliche Potenzialverläufe zwischen den Bedingungen, gesucht werden? Diese Problematik hängt unmittelbar mit der Fragestellung nach der frühen und späten Selektion zusammen (siehe auch Strayer & Grison, unter Begutachtung). So favorisieren einige Erklärungsmodelle zum negativen Priming einen frühen Mechanismus, der auf perzeptuelle Prozesse gestützt ist, während andere einen gedächtnis-basierten Prozess vermuten, der zeitlich später einzuordnen ist, und der vermutlich auf der zentralen Ebene der Verarbeitung wirkt.

Im Rahmen dieser Untersuchung ließen sich drei essentielle Fragen herausstellen: Wie wird die Lösung einer bestimmten Aufgabe erreicht? Wann werden die einzelnen hierzu notwendigen Arbeitsschritte initiiert und abgeschlossen? Welche Areale des Kortex sind an der Informationsverarbeitung im Gehirn beteiligt?

Im Folgenden werden die wesentlichen Aspekte dargestellt. Hier sollen EKP-Komponenten und Erwartungen die an eine EEG-Messung gestellt werden müssen, beschrieben und formuliert werden. Hypothesen und Erwartungen werden dabei bereits aus der konkreten Verwendung des Yee-Paradigmas abgeleitet.

4.2 Komponenten visueller EKPs

Um entscheiden zu können, zu welchen Zeitpunkten, innerhalb der visuellen und der inhaltlichen Verarbeitung ein NP-Prozess in den EEG-Messstrecken identifiziert werden kann, werden EKP-Komponenten benötigt, die charakteristisch für die Auswahl und die inhaltliche Verarbeitung von visuell präsentierten Stimuli sind. Die N100- und die P300-Komponente stellen in diesem Zusammenhang die geeigneten Marker dar.

4.2.1 N100

Die N100 gilt als Indikator früherer perzeptueller Verarbeitung und als ein Gradmesser für die Allokation von Aufmerksamkeitsressourcen bei Diskriminationsaufgaben (z.B. bei Wahlreaktionsaufgaben; Vogel & Luck, 2000). Diese Komponente tritt im Allgemeinen mit einer zeitlichen Latenz von 140 ms – 190 ms nach visueller Stimulusdarbietung auf. Sie wird oft auch als Vertex-Potenzial oder nicht spezifische Antwort bezeichnet, da die maximale Amplitude meistens an der Cz-Elektrode gemessen wird (Cooper, Osselton, & Shaw, 1980). Die N100 ist im Allgemeinen über den gesamten Schädel verteilt, so dass angenommen wird, dass diese Komponente auf die Aktivierung verschiedener Quellen zurückzuführen ist (Makeig et al., 1999).

In fMRT-Befunden hat man ein Netzwerk aus kortikalen und subkortikalen Strukturen identifiziert, das eine Schlüsselrolle in der Steuerung der visuellen Aufmerksamkeit des Menschen spielt (Mesulam, 1990; Nobre et al., 1997). Es wird vermutet, dass dieses Netzwerk die grundlegende Kontrolle der visuellen Aufmerksamkeit ermöglicht: In den zugehörigen neuronalen Schaltkreisen wird entschieden, welche Reize zu beachten sind. Dabei wird die Ausrichtung der Aufmerksamkeit durch den präfrontalen Kortex initiiert und aufrecht erhalten, während der parietale Kortex die Richtung und den Wechsel der Aufmerksamkeit auf spezifische Lokationen des extra-personalen Raumes bestimmt (Hillyard & Anllo-Vento, 1998). Trotz einer Vielzahl von Befunden sind die eigentlichen Prozesse der Informationsverarbeitung, die mit visuell evozierten N100-Komponenten assoziiert sind, nicht gut verstanden, so dass es schwierig ist, die spezifischen Aufmerksamkeitsmechanismen zu charakterisieren. Die N100 ist zumindest teilweise als Reflektion eines diskriminativen Prozesses identifiziert worden (Luck, 1995). Der N100-Aufmerksamkeitseffekt scheint dabei eine reine Verstärkung von Stimuli zu sein, die in beachteten Lokationen gezeigt werden. Spezifischerweise ist die N100-Amplitude größer für beachtete Stimuli verglichen mit Stimuli, die unter neutralen Bedingungen oder Bedingungen mit geteilter Aufmerksamkeit präsentiert werden. Aber es gibt keine Reduktion der N100-Amplitude für Stimuli, die außerhalb des Aufmerksamkeitsfokus präsentiert werden, verglichen mit einer neutralen Baseline-Bedingung (Luck & Hillyard, 1995; Luck et al., 1994). Weiterhin zeigt sich ein N100-Effekt nur, wenn von den Probanden eine Unterscheidung verlangt wird, jedoch nicht, wenn nur die Anwesenheit eines Stimulus entdeckt werden soll (Mangun & Hillyard, 1991). Basierend auf den allgemeinen Bedingungen, die notwendig sind, den N100-Aufmerksamkeits-Effekt beobachten zu können, vertreten Hillyard und Anllo-

Vento (1998) die Ansicht, dass die visuelle N100-Komponente - oder zumindest eine Subkomponente dieses Komplexes - einen diskriminativen Prozess reflektiert, der auf einen bestimmten Bereich des visuellen Feldes beschränkt werden kann.

Als vorläufiges Fazit zur N100 lässt sich festhalten, dass deren genereller Zusammenhang mit visuellen Aufmerksamkeitsprozessen unstrittig ist, obwohl nicht vollständig geklärt ist, welche Art von Unterscheidungsprozess die N100 reflektiert.

4.2.2 P300

Die P300 ist eine robuste Komponente, die mit einer Latenz von ungefähr 300 ms in einer Reihe von Entscheidungsaufgaben beobachtet werden kann (Cooper, Osselton, & Shaw, 1980). Diese Komponente gehört zu den am intensivsten beschriebenen Charakteristika des EEG, sie wurde zuerst von Sutton et al. (1965) beschrieben. Die P300 ist ein Gradmesser für die Bereitstellung von Aufmerksamkeitsressourcen bei Aufgaben, die eine Aktualisierung der Repräsentation im Arbeitsgedächtnis erfordern (Donchin & Coles, 1988b). Des Weiteren ist sie ein Indikator für den Abschluss eines Reizklassifikations- und eines Reizevaluationsprozesses (Verleger, 1988). Das Auftreten der P300 scheint von der erfolgreichen Anpassung zwischen eingehenden Informationen und gespeicherter Zielinformation abhängig zu sein. Das Potenzialfeld ist maximal in der central-parietalen Region, gemessen an der Pz-Elektrode (Cooper, Osselton, & Shaw, 1980).

Die Amplitude der P300 steht in Verbindung zu der Belegung von Aufmerksamkeits- und Gedächtnisressourcen, wobei die Höhe der Amplitude zunimmt, wenn der präsentierte Stimulus selten und wichtig für die Beantwortung der Aufgabe ist (Squires et al., 1977). Wenn zum Beispiel die Präsentation von Zielreizen mental, also im Stillen, mitgezählt werden sollen, resultiert daraus eine höhere P300-Amplitude im Verhältnis zu einem Tastendruck nach der Präsentation des Stimulus.

In Untersuchungen die nur eine kurze Reaktionszeit der Probanden voraussetzen, lässt sich meist nur eine zeitlich breit gestreute P300 beobachten: Positive langsame Wellen, die im gleichen Zeitbereich entstehen, aber mehr der Ausführung der Reaktion bzw. der Antwort zuzuordnen sind und die P300 überlagern (Tueting et al., 1971; Katayama & Polich, 1996; Squires et al., 1975; Johnson & Donchin, 1985; McCallum, 1987; Ruchkin et al., 1990). Trennt man hingegen die Potenziale, die eine motorischen Aktivität anzeigen von der

Bearbeitung der Aufgabe, durch entsprechende Maßnahmen, findet sich eine distinkte, zeitlich gut abgrenzbare P300 (Garcia-Larrea & Cezanne-Bert, 1998; Ergenoglu et al., 1998).

Es gibt genügend Hinweise, dass unter geeigneten Versuchsbedingungen die Amplitude der P300 proportional zum Grad der Information eines Reizes ist (Gratton et al., 1990). Alternativ hierzu schlugen Ruchkin und Sutton (1978) vor, dass die Amplitude der P300 als proportional zum Grad des Informationsgehaltes gesehen werden sollte, der tatsächlich aus einem Stimulus bezogen wird (hierzu auch Donchin, 1981; Donchin & Coles, 1988a).

Die Latenz der P300 wurde als ein Index für die Dauer der Evaluation eines Stimulus angesehen. Die Latenz ist dabei relativ unabhängig von der Zeit, die benötigt wird, um einen Stimulus auszuwählen oder eine Reaktion vorzubereiten (Castro & Diaz, 2001). Auf der anderen Seite gibt es Hinweise, dass die Latenz der P300 sensitiv für die benötigte Zeit zur Evaluation eines Stimulus ist, aber gleichzeitig nicht mit dem eigentlichen Entscheidungsprozess zur Beantwortung einer Aufgabe zusammenhängt (Gratton et al., 1990).

Zwei Subtypen der P300 sind bekannt, die P3a sowie die P3b (Squires et al., 1977). Die P3b mit einer maximalen Amplitude über parietalen Regionen ist mit den bereits erwähnten Prozessen der Aktualisierung von Gedächtnisinhalten und der Aufmerksamkeitslenkung assoziiert, während die P3a, mit einer maximalen Amplitude über fronto-centralen Regionen scheinbar passive und unwillkürliche Wechsel der Aufmerksamkeit und der Orientierung reflektiert (Ergenoglu, 1998). In Oddball-Paradigmen wurde die Koexistenz beider Formen, als eine kognitive Antwort auf die Präsentation seltener Stimuli bereits nachgewiesen (Kolev et al., 1997). Die P3a tritt zeitlich früher auf, etwa um 250 ms, die P3b hingegen lässt sich etwa bei 350 ms nachweisen.

Als Ergebnis der verschiedenen Bemühungen, diese Komponente in ihrer Funktion zu beschreiben, wurden verschiedene Theorien formuliert (Castro & Diaz, 2001). Donchin (Donchin, 1981; Donchin & Coles, 1988a, 1988b) hält daran fest, dass die P300 eine Manifestation eines Kontext-Updating-Prozesses im Arbeitsgedächtnis ist. Desmedt (1980) und Verleger (1988) schlugen vor, diese Komponente als Indikator für die Beendigung einer Prozess-Periode aufzufassen. Rösler (1983) formulierte ganz allgemein einen Zusammenhang zwischen der P300 und einem kontrollierten Prozess, der zum Beispiel durch die Entscheidung innerhalb einer Aufgabe gegeben sein kann.

Keine der vorgeschlagenen Erklärungsansätze kann jedoch das Phänomen der P300 vollständig beschreiben (Castro & Diaz, 2001). Darüber hinaus sind die meisten Erklärungsansätze vage in der Zuordnung der P300 zu einer bestimmten kognitiven Funktion.

4.2.3 EKP-Parameter und Interpretationsmöglichkeiten

Die hier in sehr komprimierter Form dargestellten Befunde zur N100- und P300-Komponente sollen die zum Teil sehr heterogenen Interpretationen der Ergebnisse von EEG-Untersuchungen veranschaulichen. Bei einem intensiven Studium der einschlägigen Literatur wird ebenfalls deutlich, dass eine Konfundierung der verwendeten Bezeichnungen der Komponenten mit den entsprechenden Paradigmen vorliegt. So wird der Begriff der P300 meist direkt mit einem Oddball-Experiment assoziiert, obwohl die funktionelle Charakteristik dieser Komponente, sei es nun ein Gedächtniszugriff oder eine Kontext-Updating-Prozedur im Arbeitsgedächtnis, eine weitaus größere Anzahl von Paradigmen erfasst, in denen die P300 nachgewiesen werden konnte.

Die in der Literatur verwendeten unterschiedlichen Bezeichnungen und Definitionen zur Beschreibung der P300-Komponente sind auch hinsichtlich der Festlegung, welche Signalanteile diese Komponente ausmachen, kritisch zu bewerten. Wie Spencer, Dien und Donchin (1999) darstellten, gab es in den letzten zwei Jahrzehnten in Studien, die sich mit der Beschreibung und Erforschung der späten positiven Komponenten befassen, eine Tendenz, mehrere unterschiedliche positive EKP-Komponenten in konfundierender Art und Weise zu beschreiben. So stellen die Autoren fest, dass die Einordnung der P3b (Sutton, Braren, Zubrin, & John, 1965; auch als P300 bezeichnet), P3a (Squires, Squires, & Hillyard, 1975) oder einer Neuigkeits-P300 (Courchesne, Hillyard, & Galambos, 1975) als Bestandteil, ein und derselben Kategorie von P300-Komponenten, eine mögliche funktionelle Zuordnung erheblich erschwert. Die, in den zitierten Arbeiten, geprägte Bezeichnung impliziert, dass es sich um Subgruppen der P300 mit ähnlicher Funktionalität handelt. Im Allgemeinen sind aber ähnliche Ablenkungen, die mit verschiedenen Verteilungen auf der Kopfoberfläche assoziiert sind, und die verschieden auf experimentelle Variablen reagieren, als eigenständige Komponenten aufzufassen (siehe auch Donchin et al., 1978).

Bei der späteren Diskussion und Interpretation der Ergebnisse werden diese Aspekte besonders berücksichtigt.

4.2.4 Zahlenverarbeitung und Triple-Code Modell

Die Verwendung von Zahlen als Stimuli, und speziell deren Gebrauch in einer mathematischen Aufgabenstellung, legt nahe, existierende neuroanatomische Befunde zur Zahlenverarbeitung in die Diskussion einzubinden. Im Hinblick auf Erklärungen des arithmetischen Denkens, also der Art und Weise wie Zahlen mental verarbeitet werden und repräsentiert sind, wurden verschiedene theoretische Vorschläge unterbreitet, aus welchen kognitiven Prozessen sich die Zahlenverarbeitung zusammensetzt. Einschränkend muss allerdings festgestellt werden, dass es kaum Erkenntnisse oder Untersuchungen zur präzisen neuronalen Basis dieses Denkens und der propagierten Komponenten gibt (Pesenti et al., 2000). Die Ergebnisse aus Läsionsstudien heben lediglich die weitverstreute Repräsentanz des numerischen Denkens im menschlichen Gehirn hervor.

Ein ausgearbeitetes, häufig zitiertes Modell wurde von Dehaene (1992) vorgeschlagen. Folgt man diesem funktional-anatomischen Triple-Code-Modell des arithmetischen Denkens (Dehaene, 1992; Dehaene & Cohen, 1995) dann beinhaltet die Verarbeitung arabischer Zahlen die Aktivierung verschiedener Areale. Das Modell geht davon aus, dass Zahlen im menschlichen Gehirn in drei unterscheidbaren Formen repräsentiert sein können: Als arabische Zahlzeichen, als eine Sequenz von Wörtern und als eine, zur Größe einer Zahl analoge Repräsentation (Chochon et al., 1999). Dabei gibt es modalitäts-, sowie aufgabenabhängige- und -unabhängige Repräsentationen. Die Aktivierung der abstrakten semantischen Größenrepräsentation, die bilateral im inferior-parietalen Kortex lokalisiert ist, wird als weitgehend modalitäts- und aufgabenunabhängig angesehen. Die Aktivierung der visuellen Zahlenform im occipito-temporalen Assoziationskortex sollte dagegen bei visueller Reizdarbietung erfolgen, aber nicht bei einer auditiven Darbietung. Da der Abruf der Parität (gerade/ungerade) im Modell von Dehaene (1992) an die visuelle Zahlenform gebunden ist, sollte diese Region zudem in einer Paritätsaufgabe stärker aktiviert sein als in anderen Aufgaben. Die Ergebnisse verschiedener fMRT-Studien, in denen Zahlenmaterial in der visuellen und der auditiven Modalität in unterschiedlichen Aufgaben präsentiert wurden, bestätigten insgesamt die Annahmen des Triple-Code Modells (Menon et al., 2002; Chochon et al., 1999). Abbildung 10 (Seite 51) stellt die durch das Modell charakterisierten Zusammenhänge schematisch dar. Die funktionellen Zusammenhänge die durch die Pfeilverbindungen dargestellt werden, sind in ihrem genauen Zeitverlauf allerdings wenig erforscht.

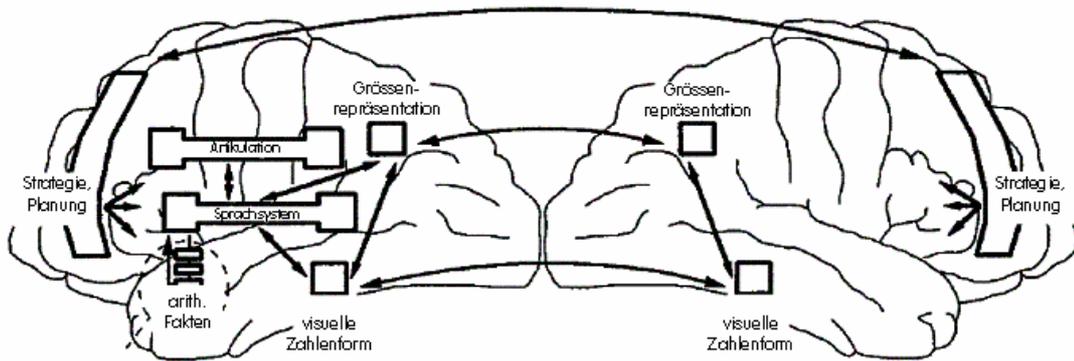


Abbildung 10:

Schematische, anatomische und funktionelle Darstellung der Zahlenverarbeitung nach dem Triple-Code-Modell (nach Dehaene & Cohen, 1995).

Die psychologische Forschung hat ebenfalls gezeigt, dass auch die Lösung einfacher mathematischer Probleme, eine strategische Sequenz von Arbeitsschritten, sowie eine Zwischenspeicherung der Resultate beinhalten kann (LeFevre et al., 1996). Dementsprechend sollte nicht davon ausgegangen werden, dass alle Versuchspersonen tatsächlich einen einheitlichen Lösungsweg benutzen. Diese gilt natürlich auch für die mathematische Operation der Division, wie sie in der in Experiment 2 gestellten Aufgabe unter anderem verlangt wird. Wie die Ergebnisse des Experiments 1 bereits gezeigt haben, ist grundsätzlich anzunehmen, dass sich unterschiedliche mathematische Fähigkeiten in unterschiedlichen Reaktions- bzw. Lösungszeiten niederschlagen.

4.3 Ziel der EEG-Untersuchung

Das Ziel der EEG-Untersuchung war es, auf der Grundlage des Paradigmas von Yee et al. (2000), eine weitere Replikation des NP-Effekts in den Reaktionszeiten zu zeigen. Die im Rahmen des Experiments 2 aufgezeichneten elektrokortikalen Potenziale sollten darüber hinaus klären, ob und in welchem Zeitfenster sich ein zentral-nervöser Indikator für das Vorliegen eines kognitiven Prozesses finden lässt, der einem NP-Effekt zugeordnet werden kann.

Bei Betrachtung der bisherigen Befunde zur N100 wurde für das NP-Experiment erwartet, dass eine frühe Unterscheidung der Stimuli, die während der perzeptuellen Phase der Verarbeitung stattfinden könnte, sich auch in einer, zwischen den Bedingungen unterschiedlichen, N100 messen lässt.

Späte NP-Effekte bzw. gedächtnisbasierte kognitive Prozesse sollten sich in einer P300 zeigen, die zwischen den Bedingungen unterschiedlich ausgeprägt ist.

Weiterhin wurde erwartet, dass sich, entsprechend der Zielreizauswahl-Hypothese, eine zeitliche Trennung der beiden Teilaufgaben, Zielreizauswahl und Antwortauswahl, anhand der elektrokortikalen Potenziale vornehmen lässt. Auf der Grundlage des Triple-Code-Modells der Zahlenverarbeitung sollten sich die dort identifizierten Areale der Zahlenverarbeitung auch in den Elektroden-Lokationen des Experiments 2 durch eine erhöhte Aktivität identifizieren lassen.

4.4 Methoden

4.4.1 Versuchspersonen

An der EEG-Studie nahmen 23 Psychologie Studenten der Universität Wuppertal teil, als Teil der Pflichtstunden für das Vordiplom (12 Männer, 11 Frauen). Für die Teilnahme an dieser Untersuchung bekamen die Studenten drei Versuchspersonenstunden anerkannt. Das Alter der Probanden lag zwischen 20 und 34 Jahren (26.17 ± 4.23). Männer (25.83 ± 3.73) und Frauen (26.54 ± 4.88) unterschieden sich hinsichtlich des Alters nicht.

4.4.2 Material und Versuchssteuerung

Material und Versuchssteuerung waren identisch mit der im Vorversuch benutzten Anordnung (Abschnitt 3.3.2).

4.4.3 Versuchsplan

Der verwendete Versuchsplan war identisch mit dem Design des Vorversuchs (Abschnitt 3.3.3). Als weitere abhängige Variablen wurden im Experiment 2 die Amplituden und Latenzen der extrahierten ereigniskorrelierten Potenziale (N100, P300) ermittelt.

4.4.4 Versuchsdurchführung

Die Versuchsdurchführung war identisch mit der unter Abschnitt 3.3.4 beschriebenen Anordnung der Voruntersuchung. Eine Vorbereitungsphase von ca. 60 min, in der die Probanden für die EEG-Aufzeichnung vorbereitet wurden, war der experimentellen Durchführung des Versuchs vorangestellt.

4.4.5 Auswertung und spezielle Verfahren

Die 58-Kanal-EEG-Aufzeichnung (erweiterte Version von Jaspers 10-20-System, Jaspers, 1958) zuzüglich vier EOG-Kanälen und vier Trigger-Kanälen, die als Marker für die vier Bedingungen des Versuchs fungierten, erfolgte über das System „Neurofax EEG-1100 G“ mit dazugehöriger Software der Firma NIHON-KOHDEN sowie einem IBM-kompatiblen Aufzeichnungsrechner (Pentium III).

Abbildung 11 zeigt schematisch die Positionen der Elektroden auf der Kopfoberfläche.

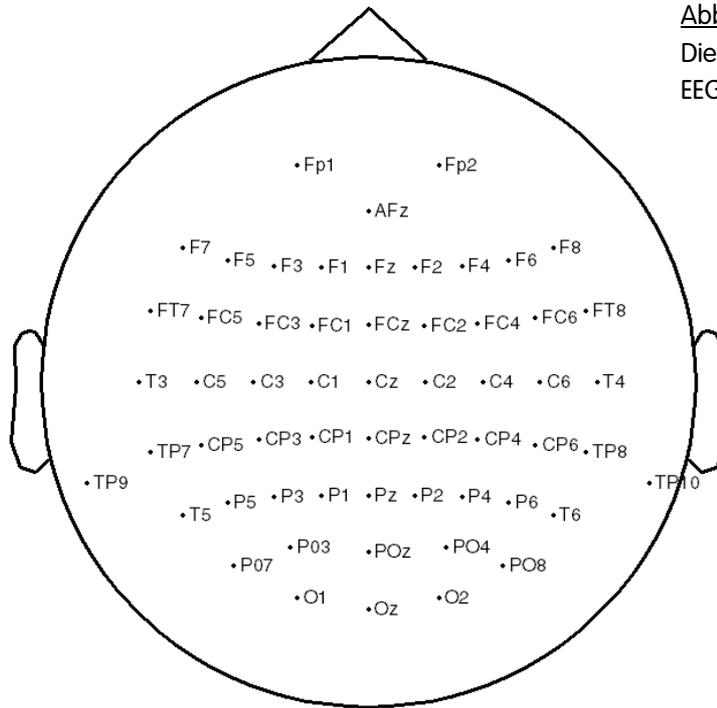


Abbildung 11:

Die Elektroden-Positionen für die EEG-Ableitung des Experiments 2.

Die Ableitung erfolgte gegen die Cz-Elektrode. Als Referenzen wurden die beiden Elektroden an den Mastoiden (TP9, TP10) gewählt. Das gemittelte Mastoiden-Potenzial war auch die Referenz für die anschließende Auswertung. Die Abtastrate betrug 1000 Hz mit einer Zeitkonstanten von 1 s und einem Hochpassfilter von 70 Hz (12dB/Oktave) sowie einem Bandpassfilter von 50 Hz zur Eliminierung des Netzausgangs. Alle Übergangswiderstände lagen unter 5 kW.

Für die Daten der EKPs wurden nur die Potenziale der Probe-Darbietungen verwendet und die Potenziale für die Antworthand, analog zur Auswertung des Vorversuchs (Abschnitt 3.4), innerhalb einer Bedingung zusammengefasst. Vor der Zusammenfassung waren jedoch die für die linke und rechte Hand getrennt gemittelten Potenziale visuell auf Gleichheit in allen relevanten Komponenten sowie den in dieser Arbeit berichteten Lokationen überprüft worden. Durch dieses Vorgehen konnte auch die Anzahl der in die Parameterbestimmung der EKPs eingehenden Versuchsdurchgänge erhöht werden und es wurde insgesamt die Aussagefähigkeit der elektrokortikalen Potenziale erhöht.

Die extrahierten Parameter der EKPs, Latenz und Amplitude, wurden nach der individuellen Mittelung mit einer multifaktoriellen Varianzanalyse auf beiden

Faktoren analysiert. Der erste Faktor war die Versuchsbedingung (Attend, Attend-Kontrolle, Ignore, Ignore-Kontrolle). Der zweite Faktor war die Elektrodenlokation. Berichtet wird jeweils die Pillai-Spur Prüfgröße. In den Fällen, in denen Mehrfach-Einzelvergleiche berechnet wurden, werden die Ergebnisse ausschließlich α -adjustiert berichtet (Korrektur nach Bonferroni-Holm; Holm, 1979).

Die Anzahl der Elektroden, die zur Analyse der Komponenten benutzt wurden, war unterschiedlich. Die Elektroden, die in diese Berechnungen eingingen, wurden dabei entsprechend der Folgenden Überlegung ausgewählt:

- Die zeitlichen Komponenten der Potenzialverläufe können theoretisch an allen für die Aufzeichnung verwendeten Positionen analysiert werden. Dieses Vorgehen ist aber insgesamt wenig sinnvoll, da es zum einen nicht der Definition einer Komponente (siehe auch Donchin et al., 1977) entspricht, und da sich zum anderen per Zufall Unterschiede zwischen verschiedenen Bedingungen an unterschiedlichen Elektroden ergeben können. Diese Problematik kann durch die Darstellung der ermittelten Kennwerte über die entsprechenden Daten aller aufgezeichneten Elektroden aufgefangen werden (Picton et al., 2000). Auf der Grundlage von Übersichtsdarstellungen können dann, analog zu fMRT- und MEG-Untersuchungen, im Vorhinein sogenannte „Regions of Interest“ bestimmt werden. Entsprechend dem Zeitfenster der jeweiligen Komponente sollten die so definierten kortikalen Areale Unterschiede in der Verarbeitung von Informationen zwischen experimenteller Bedingung und einer Kontrollbedingung aufweisen. Die betrachteten Regionen sollten dabei mit perzeptuellen und weiterführenden Verarbeitungsprozessen, die mit den verwendeten Stimuli assoziiert sind, übereinstimmen. Diese Anforderung wird in der vorliegenden Arbeit mit einem Vergleich der extrahierten Latenz- und Amplituden-Kennwerte über alle Elektroden zwischen den Bedingungen berücksichtigt.

Die Kennwerte für die Latenz und die Amplitude der Komponenten (N100, P300) wurden in zwei verschiedenen Zeitfenstern bestimmt. Die Angaben in Millisekunden beziehen sich dabei immer auf einen einheitlichen Nullpunkt, der in allen Messstrecken durch die Präsentation der Stimuli definiert wird:

- N100-Amplitude: Minimum zwischen 100 ms – 200 ms
- N100-Latenz: Zeitpunkt der N100-Amplitude
- P300-Amplitude: Maximum zwischen 260 ms – 400 ms

- P300-Latenz: Zeitpunkt der P300-Amplitude

Eine der grundsätzlichen Annahmen zur Berechnung eines gemittelten EKPs geht davon aus, dass ein identischer Stimulus bei mehrfacher Darbietung, auch über die Zeit gleiche oder ähnliche Potenzialverläufe aufweist. Diese Annahme ist in einer solchen strengen Form im Allgemeinen nicht haltbar. Speziell wenn, wie in dem hier durchgeführten Experiment 2 höhere kognitive Prozesse dargestellt werden sollen, kann nicht davon ausgegangen werden, dass die zugehörige kortikale Aktivität sich auch zu identischen Zeiten in allen Messstrecken im gleichen Maße abbildet.

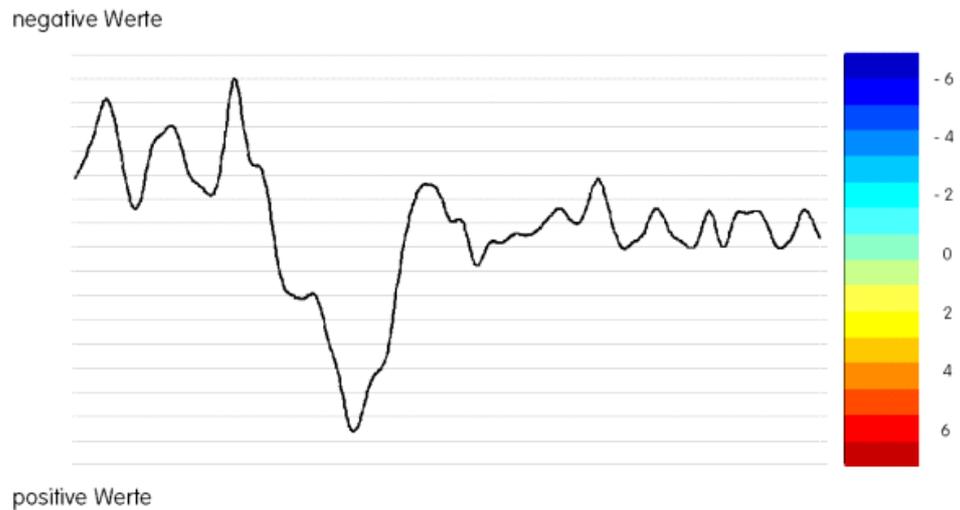
Die Verarbeitung von Zahlenmaterial und insbesondere die Bearbeitung arithmetischer Aufgaben kann auch für identische Durchgänge sehr stark variieren. So kann es zum Beispiel bei Lösungen von Aufgaben in einigen Fällen zu einem Fehler im Abruf der bereits fertigen Lösung kommen. Wenn dann, zur Kompensation eines solchen Fehlers, zeitlich langsamere Prozesse eingesetzt werden müssen verändern sich auch die Latenzen der betrachteten Komponenten im EEG. Speziell in Komponenten wie der P300 verursacht die Variabilität zwischen den Durchgängen Probleme in der Analyse (Demiralp et al., 1998). Zusätzlich muss eine große Abhängigkeit der Güte eines gemittelten Signals von der Reaktionszeit berücksichtigt werden: Personen mit kurzen und über die Versuchsdarbietung homogenen Reaktionszeiten weisen in den berechneten Komponenten des EEG im Allgemeinen hohe Amplituden auf und haben eine hohe Signal-Stärke (Winterer et al., 1999). Die Signal-Stärke von Personen, die längere Reaktionszeiten haben, fällt dagegen in den gemittelten Potenzialen deutlich schwächer aus. Es wäre daher wünschenswert, überprüfen zu können, welche Bereiche der EKPs tatsächlich über die verschiedenen Durchgänge einer Bedingung, sowie im Vergleich der Versuchspersonen, ähnliche oder im Idealfall gleiche Potenzialverläufe aufweisen. Damit würde sicher gestellt, dass die arithmetische Mittelung der Potenziale auch die gewünschte Abbildungsqualität des interessierenden Signalanteils gewährleistet. Es existieren statistische Maße für die Güte, mit der eine gemittelte Komponente die betreffende kortikale Aktivität einer Gruppe von Versuchspersonen wiedergibt (Vertrauensintervalle, Kohärenz und ähnliches). Ebenfalls wird empfohlen zur Charakterisierung eines bestimmten Effekts, der sich nicht in den Grand-Mean Darstellungen zeigt (Grand-Mean = über alle Versuchspersonen gemittelte EKPs), über eine Person gemittelte repräsentative Potenziale zu berichten (Picton et al., 2000).

Insgesamt ergibt sich daraus, dass ein geeignetes visuelles Verfahren, wertvolle Informationen über die tatsächliche mittlere Aktivität einer experimentellen Bedingung liefern kann, ob dieses nun vor der Mittelung als Einzelmethode, oder ergänzend zu den Grand-Means durchgeführt wird. Die visuelle Inspektion der EEG-Daten ist dabei keineswegs als Verlegenheitslösung oder minderwertige Methode zu werten. Am Anfang einer jeden EEG-Auswertung steht immer eine visuelle Durchsicht der Daten.

Die hier verwendete ERP-Image-Analyse (Jung et al., 2001; Makeig et al., 1999; siehe auch Enghoff, 1999) wurde im Rahmen der Untersuchung von Single-Trial-Experimenten entwickelt, eignet sich aber auch für die Auswertung konventionell gemittelter Potenzialverläufe. Diese Methode erlaubt es die zeitliche Verteilung der aufgezeichneten Messwerte, aus denen ein einzelner Durchgang besteht, über alle Durchgänge und Versuchspersonen für eine bestimmte Elektrodenposition in einer zweidimensionalen Abbildung darzustellen.

In einem ersten Schritt werden alle gültigen Durchgänge entsprechend der Reaktionszeit sortiert, beginnend mit der kürzesten Reaktionszeit. Die sich so ergebende Matrix (Zeile = Durchgänge, Spalte = Zeitpunkt) wird durch eine Moving-Average-Prozedur variabler Breite geglättet. Die in dieser Arbeit dargestellten Berechnungen wurden alle mit einem Moving-Average bearbeitet, das jeweils 30 Durchgänge erfasst. Diese Prozedur sorgt lediglich dafür, dass die Amplitudenwerte einheitlich darstellbar sind. Die in jeder Zeile der Matrix enthaltenen Amplitudenwerte, werden entsprechend dem in Abbildung 12 (Seite 57) dargestellten Schema in eine Farbkodierung transformiert.

Diese Farbkodierung wird für alle gültigen Durchgänge einer Bedingung vorgenommen. Um einen Vergleich zwischen allen in einem Versuch realisierten Bedingungen zu ermöglichen, wird die Farbkodierung auf den größten berechneten Amplitudenwert normiert.



Transformation:
Potenzial [Volt] => Farbe

Abbildung 12:

Zuordnung der Farbkodierung für die ERP-Image-Analyse. Hierbei werden einem Potenzialverlauf (Beispiel in schwarz) entsprechend den horizontalen Linien Farben zugeordnet. Die Auflösung der Farbskala kann dabei beliebig gewählt werden. Nach erfolgter Transformation erhält man eine einzige Linie, die aus farbigen Segmenten besteht.

4.4 Ergebnisse

4.4.1 Reaktionszeiten: NP-Effekt

Die Reaktionszeiten der Probedarbietung wurden nur berücksichtigt, wenn sowohl im Prime als auch im Probe eine gültige Reaktion registriert wurde. Die Reaktionszeiten waren in den Experimentalbedingungen grundsätzlich höher als die Werte der Kontrollbedingungen. Mittelwerte und Standardfehler der Probedarbietung der EEG-Untersuchung sind in Abbildung 13 dargestellt.

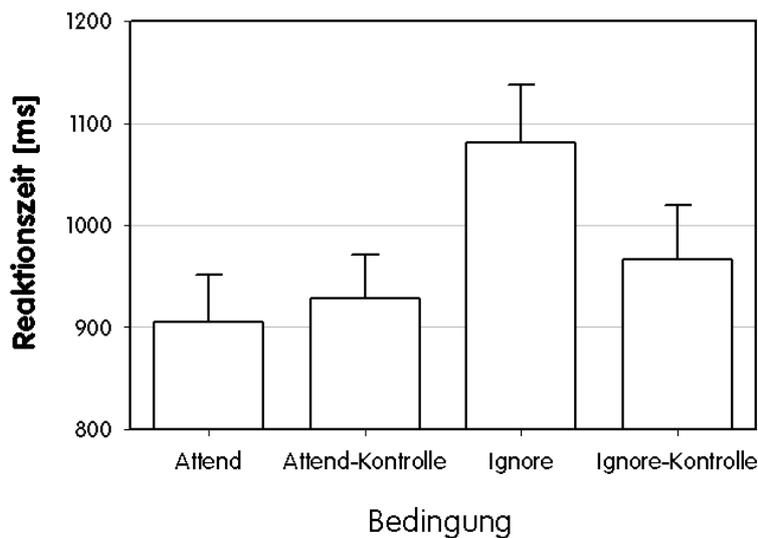


Abbildung 13:
Graphische Darstellung der mittleren Reaktionszeiten für die Probedurchgänge des Experiments 2 ($n = 23$). Als Fehlerbalken ist der Standardfehler aufgetragen.

Die mittlere Reaktionszeit unter der Ignore-Bedingung betrug 1081 ms und die Reaktion unter der Kontrollbedingung lag bei 966 ms. Es zeigte sich ein NP-Effekt von 115 ms. Die Reaktionszeit unter der Attend-Bedingung lag mit 905 ms unter der für die Attend-Kontrolle-Bedingung gemessenen mittleren Reaktionszeit von 928 ms. Damit erfolgte die Reaktion im Mittel 23 ms schneller unter der Attend-Bedingung, was einem positiven Priming Effekt entspricht.

Die Fehlerraten waren insgesamt niedrig mit leicht erhöhten Werten für die Ignore Bedingung. Der mittlere Wert betrug hier 2.7%, gefolgt von der Attend-Kontrolle-Bedingung mit 2.3% und der Ignore-Kontrolle mit 2.3%. Die wenigsten Fehler wurden mit 1.6% in der Attend-Bedingung gemacht.

Die verschiedenen Probe-Darbietungen unterschieden sich signifikant voneinander ($F(3,20) = 25.426$, $p \leq 0.0005$, Pillai-Spur = 0.792). Der NP-Effekt war signifikant ($p \leq 0.0005$). Die Unterschiede zwischen den Fehlerraten und der positive Priming Effekt waren nicht signifikant.

4.4.2 ERP-Image Darstellung: Alle Bedingungen

In der Abbildung 14 (Seite 60), Abbildung 15 (Seite 63) und Abbildung 16 (Seite 65) sind die ERP-Images für alle Bedingungen an der Pz-, der P4- und der FCz-Elektrode dargestellt. Alle ERP-Images sind zusätzlich im Anhang (A1-A6) in einer höheren Auflösung abgebildet, nach Bedingungen und Elektroden sortiert. Die Elektroden wurden nach folgenden Gesichtspunkten ausgewählt:

- Pz: Diese Lokation stellt die klassische Elektrode für den Nachweis und die Analyse von gedächtnisbasierten Aufmerksamkeitsprozessen dar die mit der P300 assoziiert sind.
- P4: Entsprechend Abbildung 10 und den Ausführungen zum Triple-Code-Modell der Zahlenverarbeitung, wurde erwartet, dass die an dieser Elektrode aufgezeichneten Signale sensitiv für Prozesse der Zahlenverarbeitung während der Zielreiz –Auswahl sind.
- FCz: Hier wurde, entsprechend der unter Abschnitt 1.6 dargelegten Befunde erwartet, dass sich an dieser Lokation Entscheidungsprozesse während der Zielreiz-Auswahl und der Antwort-Auswahl abbilden.

Anhand der Abbildung 14 wird die Art und Weise, wie die Resultate der ERP-Images interpretiert werden können erst einmal beispielhaft dargelegt. Für die sprachliche Darstellung der Resultate wurde soweit als möglich versucht, objektive Begrifflichkeiten zu wählen. Teilweise wurden Bezeichnungen verwendet, die durch den anschaulichen Charakter der ERP-Images geprägt sind. Die Verwendung dieser Bezeichnungen schränkt jedoch keinesfalls die inhaltliche Aussagefähigkeit der Abbildungen ein.

4.4.2.1 Pz-Elektrode

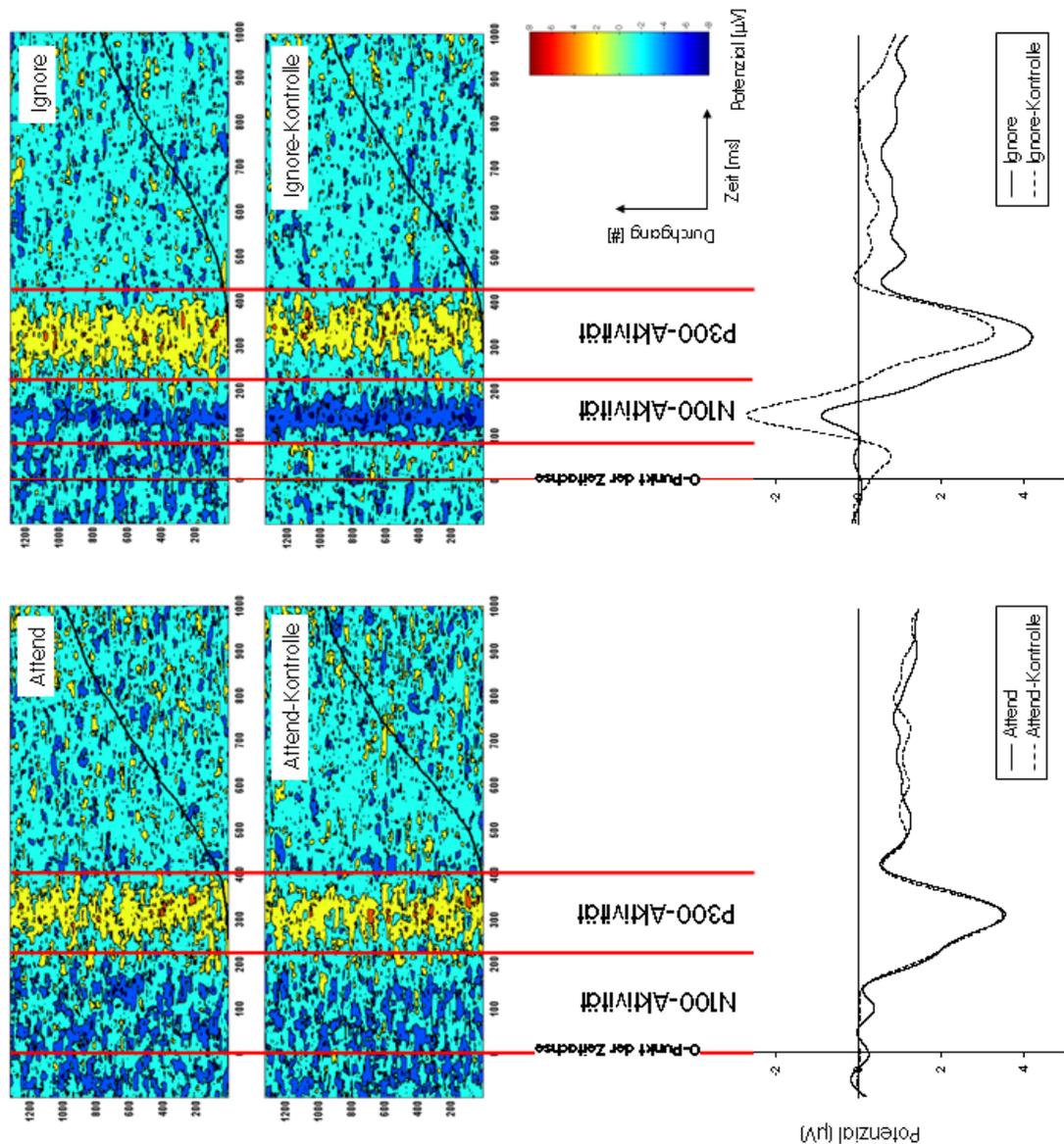


Abbildung 14:

ERP-Image Darstellungen der Potenziale an der Pz-Elektrode für alle gültigen Versuchsdurchgänge und alle Bedingungen, über alle Versuchspersonen. Die entsprechenden Grand-Mean Darstellungen sind unterhalb der ERP-Images aufgetragen. Die Zeitbereiche der Messstrecken, die im Mittelungsprozess die N100 und P300 Komponente bestimmen sind durch vertikale rote Linien gekennzeichnet. ERP-Images und Grand-Means haben die gleiche Zeitachse (siehe auch Anhang A1 / A2).

Alle ERP-Images sind so gegliedert, dass in der oberen Hälfte der Abbildungen jeweils die beiden Experimentalbedingungen, Attend und Ignore, gezeigt werden. Direkt darunter befinden sich die entsprechenden Kontrollbedingungen. Die vertikalen roten Linien der ERP-Abbildungen stehen dabei in einem direkten Bezug zu den in der unteren Hälfte dargestellten Grand-Means. Diese Linien verweisen

auf den Aktivitätsbereich der Einzel-Messstrecken, der in den gemittelten Potenzialen die N100 und die P300 ergibt, so dass ein direkter Vergleich möglich ist. Die Achsenbezeichnung der ERP-Images ist jeweils rechts unterhalb der Ignore-Kontrolle-Bedingung eingezeichnet, sowie die Farbskalierung der Amplitude.

Der Maximalwert der Y-Achse der Abbildung 14 gibt die Anzahl der Versuchsdurchgänge an, die in die Berechnung des Grand-Mean Potenzials eingegangen sind. Von 1 bis zum Maximum der jeweiligen Skala steht jeder n-Wert für ein Trial, das entsprechend der Darstellung unter Abschnitt 4.4.5 transformiert wurde. Die x-Achse gibt den zeitlichen Verlauf des Versuchs an. Der 0-Punkt wurde dabei in Abhängigkeit von der Präsentation des Stimulus bestimmt, wobei der Konvention zur Darstellung entsprechend (Picton et al., 2000), die Aktivität in einem ausreichend langen Prästimulus-Intervall mit abgebildet ist (hier 100 ms). Die in allen Panels der ERP-Darstellung abgebildete schwarze Linie, die sich ab circa 400 ms zum jeweils rechten Rand der Panels zieht, gibt die Reaktionszeiten an, die für die jeweiligen Versuchsdurchgänge erzielt wurden.

Deutlich sichtbar war, dass ab etwa 400 ms keine einfache vertikale Einteilung mehr vorgenommen werden konnte, dies galt für alle gezeigten ERP-Abbildungen. Die Orientierung der Potenziale lag hier in Richtung der durch die Reaktionszeiten bestimmten Linie. In der Darstellung der Grand-Means gingen die Werte ab 400 ms immer mehr in eine flache Linie über. Die positiven und negativen Werte der einzelnen Trials löschten sich durch den Mittelungsprozess nahezu aus. Die sich hier abzeichnende Trennung in zwei Phasen der Verarbeitung ist charakteristisch für Aufgaben mit längeren Reaktionszeiten. Im Zeitintervall von 0 ms bis 400 ms spricht man dabei von „Stimulus-bezogener Aktivität“, während der Zeitbereich ab 400 ms, bis zur Reaktion als „Antwort-bezogene Aktivität“ bezeichnet wird. Alle hier für die weitere Auswertung gewählten Komponenten lagen also im Bereich der „Stimulus-bezogenen Aktivität“.

Die Darstellung der Pz-Elektrode zeigte einen Unterschied zwischen den Bedingungen, in dem Latenzbereich, der in den gemittelten Potenzialen die N100-Komponente ergab. Unter der Ignore-Kontrolle-Bedingung wies dieser Zeitbereich eine homogene Aktivierung auf, die im Vergleich aller Versuchsdurchgänge durch eine hohe zeitliche Bindung charakterisiert war.

Dieser Befund zeigte sich in einem vertikalen Streifen negativer Potenziale (dunkelblau), der sich deutlich von der Hintergrundaktivität abhob. Die Potenziale der Ignore-Bedingung zeigten einen ähnlichen Effekt, der aber nur eine zeitlich begrenztere Ausdehnung besaß. Dieses war in den ERP-Images durch einen schmalen blauen Streifen mit vertikaler Orientierung gekennzeichnet. Umgangssprachlich könnte man diese Beobachtung mit der Bezeichnung „ausgefranst“ versehen. In den Darstellungen der Attend und der Attend-Kontrolle-Bedingung war diese Eigenschaft noch ausgeprägter zu beobachten. Hier war eine zeitlich breit gestreute negative Aktivität zu sehen, die von der Einblendung des Zahlenpaares bis etwa 200 ms beobachtet werden konnte. Die soeben dargelegten Befunde zeigten sich auch in der Darstellung der Grand-Means in einem deutlich ausgeprägten Unterschied zwischen den Amplituden der verschiedenen Bedingungen. Das Größenverhältnis der Amplituden ließ sich folgendermaßen zusammenfassen: Ignore-Kontrolle > Ignore > Attend und Attend-Kontrolle.

Für den Zeitbereich, der in Abbildung 14 mit der Bezeichnung P300-Aktivität gekennzeichnet ist, zeigte die Ignore-Bedingung im Vergleich die breiteste und ausgeprägteste Aktivität (gelber Streifen = positive Potenziale). Dieses bildet sich auch in der Grand-Means ab, in der diese Bedingung die höchste Amplitude aufwies.

4.4.2.2 P4-Elektrode

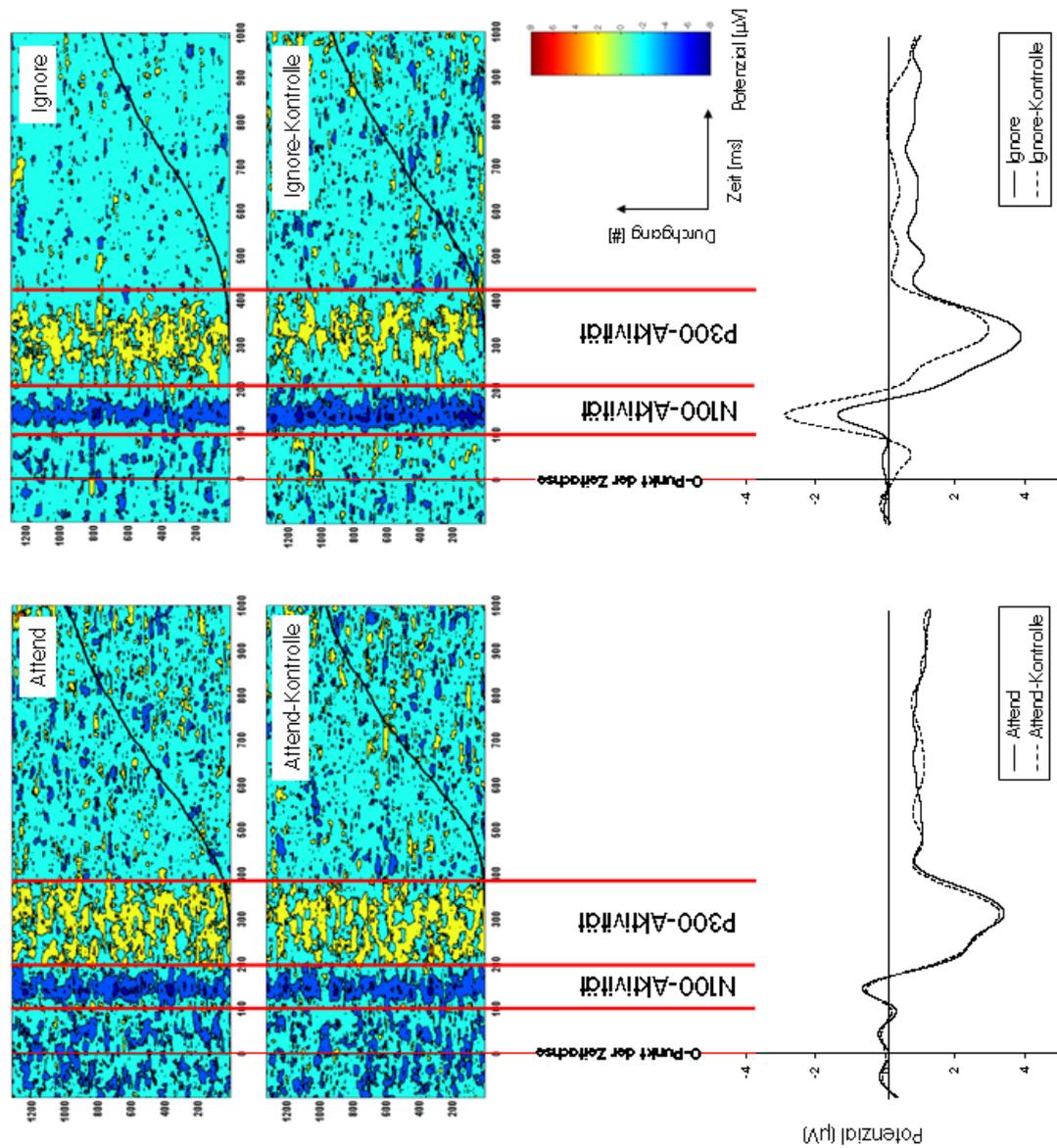


Abbildung 15:

ERP-Image Darstellungen der Potenziale an der P4-Elektrode für alle gültigen Versuchsdurchgänge und alle Bedingungen, über alle Versuchspersonen. Die entsprechenden Grand-Mean Darstellungen sind unterhalb der ERP-Images aufgetragen. Die Zeitbereiche der Messstrecken, die im Mittelungsprozess die N100 und P300 Komponente bestimmen sind durch vertikale rote Linien gekennzeichnet. ERP-Images und Grand-Means haben die gleiche Zeitachse (siehe auch Anhang A3 / A4).

Für die ERP-Image Darstellungen an der P4-Elektrode galt grundsätzlich eine ähnliche Beschreibung wie sie für die Potenziale an der Pz-Elektrode gegeben wurde. Die Abstufung der Bedingungen, bezüglich der Unterscheidbarkeit des N100-Aktivitätsbereichs fand ebenfalls in folgender Reihenfolge statt: Ignore-Kontrolle > Ignore > Attend und Attend-Kontrolle. Diese Reihenfolge war

wiederum analog zur Darstellung der Grand-Means. Generell wiesen hier allerdings alle Bedingungen eine definiertere Aktivität im N100-Bereich auf, geprägt durch zeitlich begrenzte negative Potenziale, die durch gut von der Umgebung abgrenzbare vertikale blaue Streifen abgebildet wurden. Die im P300 Bereich sichtbare Aktivität war unterschiedlich zwischen den Bedingungen. Insgesamt erschien diese nicht so geschlossen über alle Durchgänge im Vergleich zur Pz-Elektrode. Unter der Ignore-Kontrolle-Bedingung war die Aktivität zerrissen und immer wieder von schwach negativen Potenzialen unterbrochen, was sich auch insgesamt in der niedrigsten P300-Amplitude in der Grand-Mean Darstellung zeigte. Gleiches galt für die Werte der Attend-Bedingung und der Attend-Kontrolle-Bedingung in diesem Zeitbereich. Im Unterschied zur Ignore-Kontrolle-Bedingung war die Aktivität hier allerdings zeitlich breiter verteilt. Die Ignore-Bedingung wies insgesamt die kompakteste Aktivität aller Bedingungen auf.

4.4.2.3 FCz-Elektrode

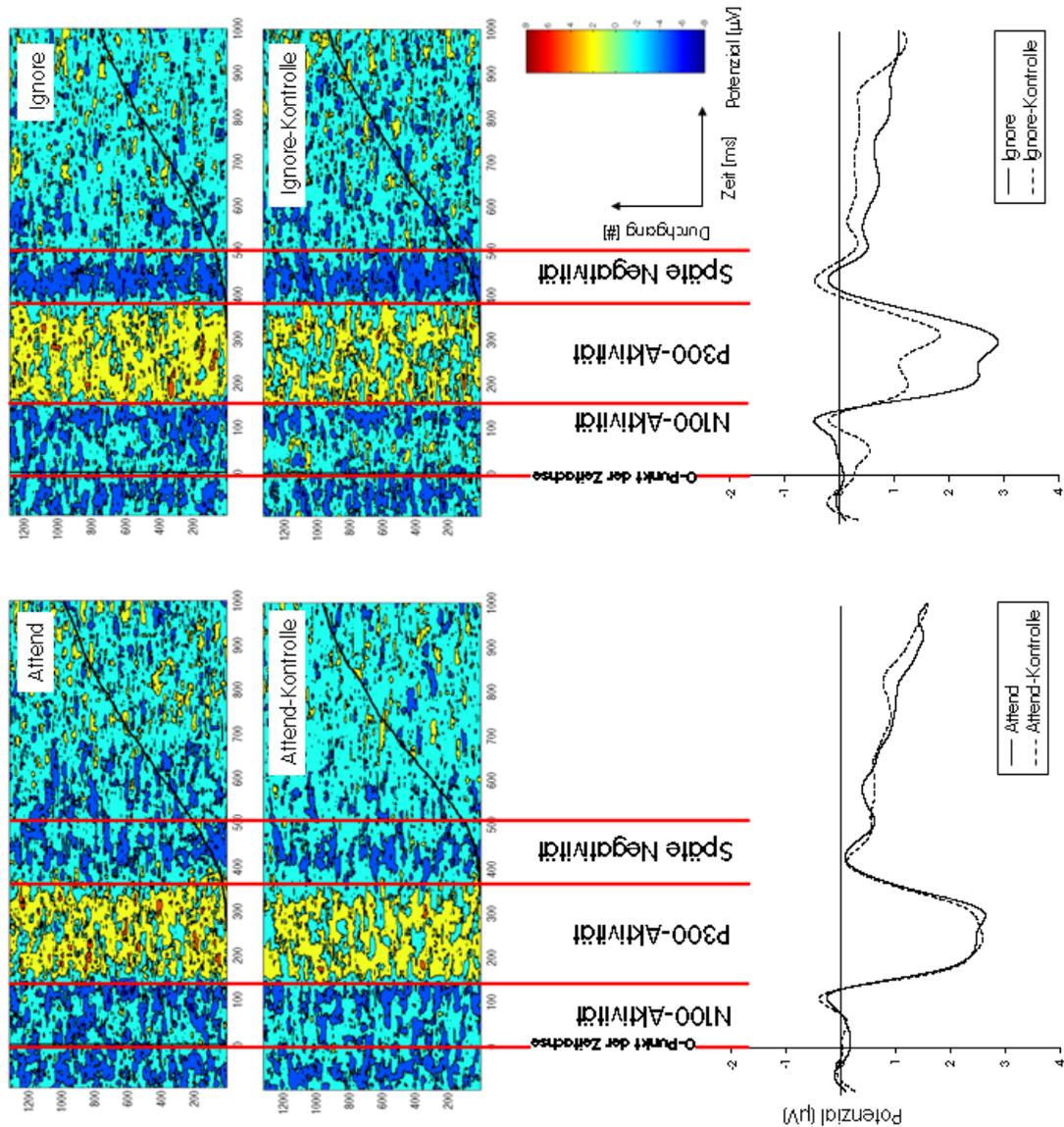


Abbildung 16:

ERP-Image Darstellungen der Potenziale an der FCz-Elektrode für alle gültigen Versuchsdurchgänge und alle Bedingungen, über alle Versuchspersonen. Die entsprechenden Grand-Mean Darstellungen sind unterhalb der ERP-Images aufgetragen. Die Zeitbereiche der Messstrecken, die im Mittelungsprozess die N100 und P300 Komponente bestimmen sind durch vertikale rote Linien gekennzeichnet. ERP-Images und Grand-Means haben die gleiche Zeitachse (siehe auch Anhang A5 / A6).

Die zeitliche Breite des N100-Aktivitätsbereichs war für alle Bedingungen an der FCz-Elektrode nicht deutlich abgegrenzt. Die beste Unterscheidbarkeit zeigte sich hier für die Ignore-Kontrolle-Bedingung. Der P300-Aktivitätsbereich war unterschiedlich ausgeprägt zwischen den Bedingungen. Die zeitlich ausgedehnten positiven Potenziale der Ignore-Bedingung unterschieden sich

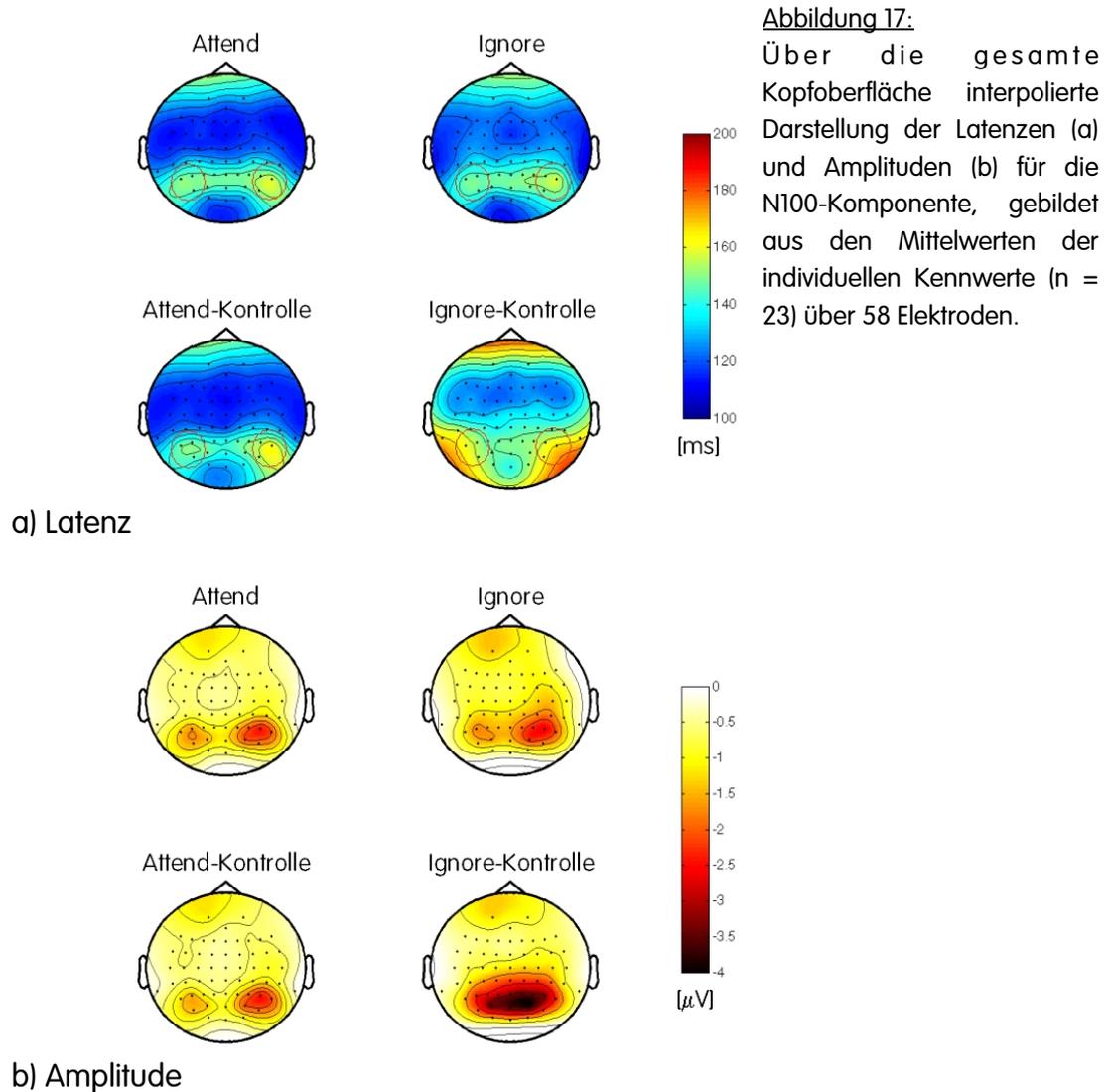
deutlich von den Potenzialen der Ignore-Kontrolle-Bedingung, die von negativen Werten unterbrochen war. Die Aktivität in der Attend-Bedingung und der Attend-Kontrolle-Bedingung war ebenfalls zerrissener. Ein ausgeprägter Unterschied zwischen den Ignore-Bedingungen und den Attend-Bedingungen zeigte sich in einem Bereich ab etwa 400 ms, der als „Späte-Negativität“ bezeichnet wird. Dieser Unterschied war in der Ignore-Bedingung und der Ignore-Kontrolle-Bedingung als gut unterscheidbares, vertikales Band negativer Potenziale zu sehen. Die Attend-Bedingung und die Attend-Kontrolle-Bedingung zeigten in diesem Zeitbereich nur eine schwache negative Aktivierung, die insgesamt nicht homogen über alle Durchgänge verteilt war. Besonders deutlich war insgesamt die kompakte P300-Aktivität in der Ignore-Bedingung.

4.4.3 Gemittelte Potenziale: Latenz und Amplitude

Zuerst wurden für alle 58 Elektroden die Kennwerte der Latenzen und Amplituden für die individuell gemittelten Potenziale berechnet, diese Werte waren die Basis der MANOVAs die zum Vergleich der Positionen und Bedingungen gerechnet wurden. Die extrahierten Parameter wurden dann noch einmal gemittelt, so dass für die gesamte Gruppe der 23 Versuchspersonen ein gemeinsamer Mittelwert der Amplitude und der Latenz für alle 58 Elektroden vorlag. Die gemeinsamen Mittelwerte wurden dann über die gesamte Kopfoberfläche graphisch interpoliert, unter Einbeziehung der Koordinaten für die Elektroden.

4.4.3.1 N100-Komponente: Latenz und Amplitude

Für die Latenz und die Amplitude der N100 ergaben sich die in Abbildung 17 (Seite 67) dargestellten Verteilungen auf der Kopfoberfläche. Die Darstellung der Latenzen (Abbildung 17a) zeigte für die Bedingungen Attend, Ignore und Attend-Kontrolle, eine ähnliche Verteilung mit Werten bis maximal 160 ms. Die Werte für die Ignore-Kontrolle-Bedingung wiesen hingegen nur über den fronto-zentralen Arealen ähnliche Potenziale auf. Ansonsten zeigten sich hier durchweg höhere Latenzen. Die Darstellung der Amplitudenwerte (Abbildung 17b) war hingegen nahezu einheitlich für alle Bedingungen, mit einem parietalen Maximum für die Ignore-Kontrolle-Bedingung.



Insgesamt wies die Ignore-Kontrolle-Bedingung die höheren Latenzen im Vergleich mit den übrigen Bedingungen auf. Deren Latenzen betragen im Durchschnitt über alle Lokationen 120 ms, hier fielen nur die parietal gelegenen Lokationen T5, P5, P3, Pz, P4, P6 und T6 heraus. In den durch diese Elektroden repräsentierten Arealen betrug die Latenz um die 150 ms. Auch in der integrierten Darstellung der Amplituden ließen sich diese Regionen als verschieden von allen anderen Lokationen identifizieren. Die N100-Komponente wies für diese Elektroden-Positionen die höchsten Amplitudenwerte auf. Zudem waren für die Ignore-Kontrolle-Bedingung die gesamte parietale Region und die posterioren Elektroden durch ein entsprechendes Maximum in den Amplitudenwerten gekennzeichnet. Die rechte Region wies dabei insgesamt die höheren Amplituden auf. Die ermittelten Parameter sind in Abbildung 18 (Seite 68) dargestellt.

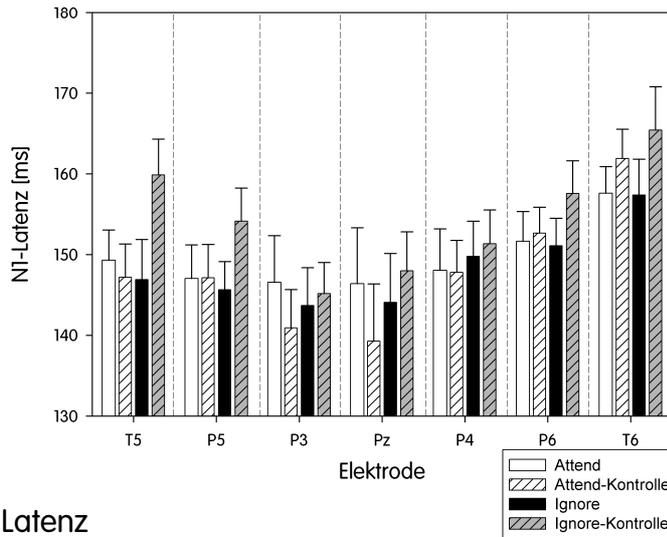
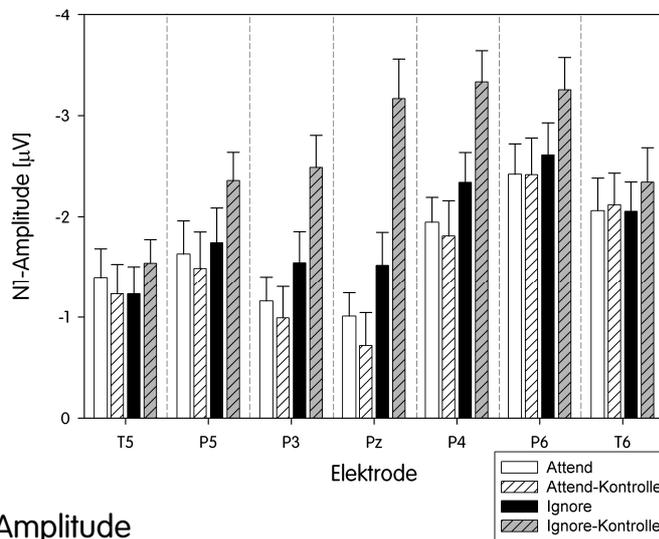


Abbildung 18:

Latenzen (a) und Amplituden (b) (Mittelwerte und Standardfehler) der N100 Komponente für alle Bedingungen an 6 ausgewählten Elektroden der temporo-parietalen Region (T5, P5, P3, Pz, P4, P6, T6).

a) Latenz



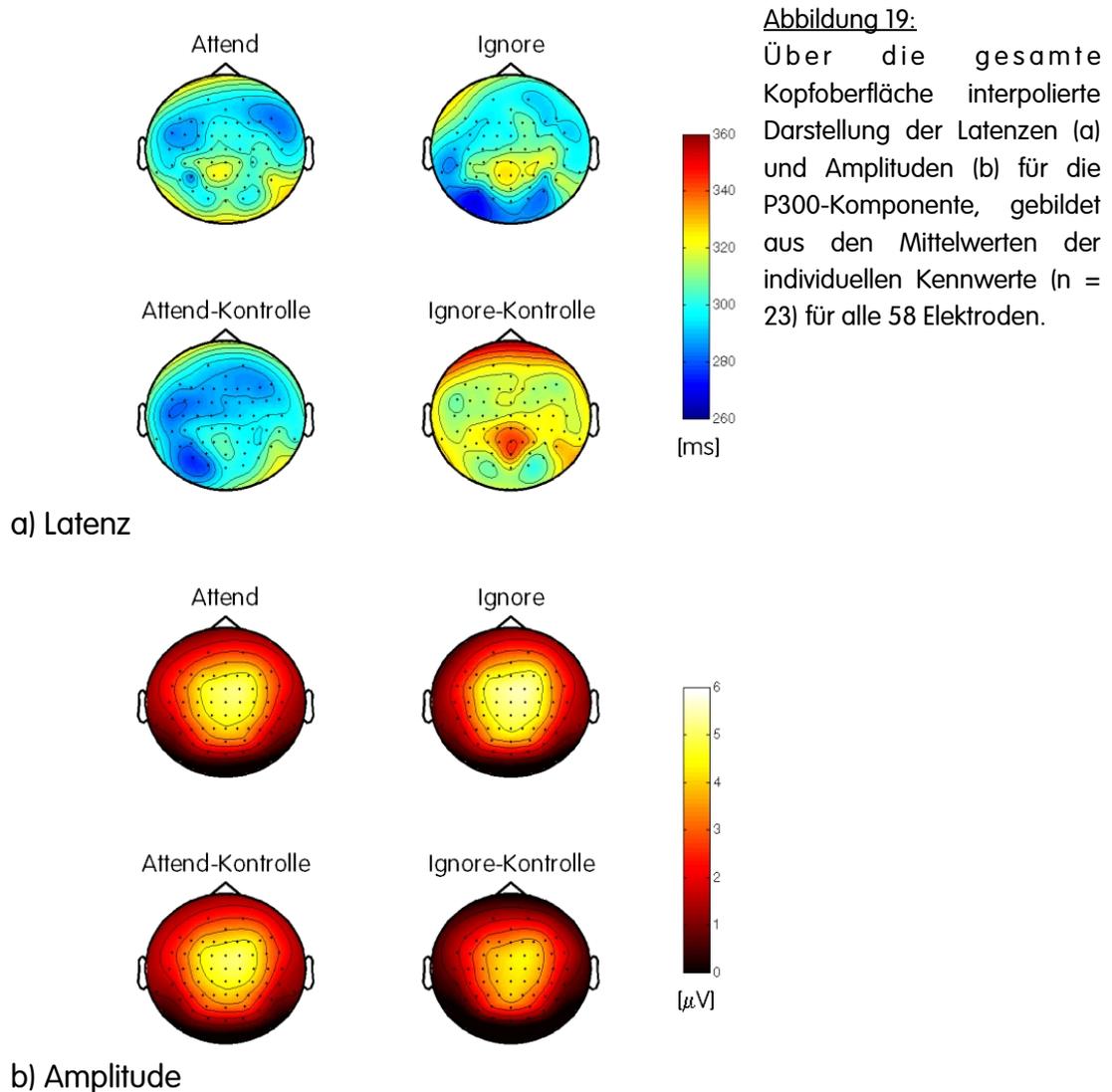
b) Amplitude

Eine MANOVA (SPSS 10.0) mit den Faktoren Bedingung und Elektrodenposition (T5, P5, P3, Pz, P4, P6, T6) ergab für die Amplituden und Latenzen die folgenden Resultate:

- Latenz: Die Unterschiede in den Latenzen zwischen den Bedingungen waren nicht signifikant.
- Amplitude: Die Unterschiede in den Amplituden zeigten einen signifikanten Haupteffekt Bedingung ($F(3,20) = 23.288, p \leq 0.0005, \text{ Pillai-Spur} = 0.777$) und Elektrode ($F(6,17) = 10.192, p \leq 0.0005, \text{ Pillai-Spur} = 0.782$). Die anschließend berechneten Einzelvergleiche ergaben signifikante Unterschiede für den Vergleich zwischen Ignore und Ignore-Kontrolle ($p = 0.017$), Attend und Ignore-Kontrolle ($p \leq 0.0005$), sowie zwischen Attend-Kontrolle und Ignore-Kontrolle ($p \leq 0.0005$)

4.4.3.2 P300-Komponente: Latenz und Amplitude

Die interpolierte Darstellung der Latenz Werte (Abbildung 19a) zeigte eine erhöhte Latenz für die Region um die Pz-Elektrode in der Bedingung Ignore-Kontrolle. In allen übrigen Bedingungen waren die Werte an dieser Elektrode niedriger. Die Amplituden Darstellung der Abbildung 19b verwies auf eine größere Region, die sowohl frontale als auch zentrale und parietale Elektroden betraf. Zur Charakterisierung der P300 wurden daher Elektroden aus der Midline-Gruppe ausgewählt (Fz, FCz, Cz, CPz, Pz, POz). Abbildung 20 (Seite 70) stellt die Werte dieser Lokationen dar.



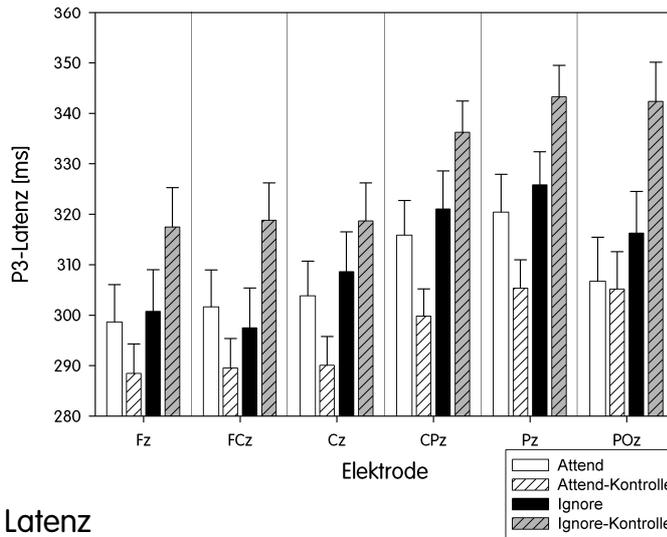
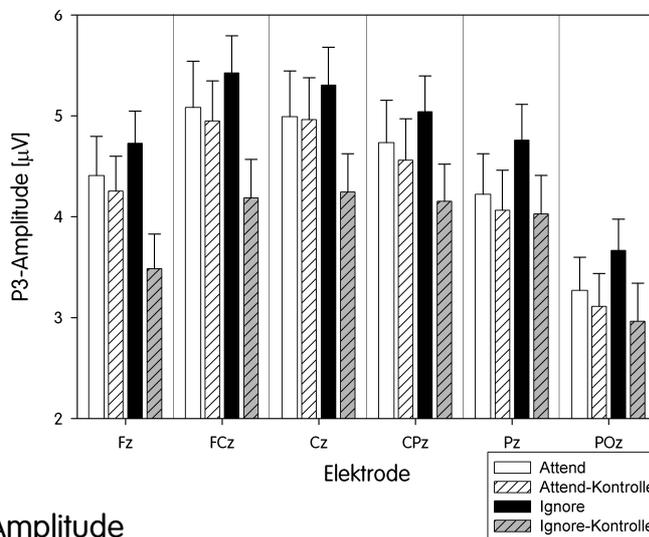


Abbildung 20:

Latenzen und Amplituden (Mittelwerte und Standardfehler) der P300-Komponente für alle Bedingungen an 6 ausgewählten Lokationen der so genannten „Midline“-Elektroden (Fz, FCz, Cz, CPz, Pz, POz).

a) Latenz



b) Amplitude

Eine MANOVA (SPSS 10.0) mit den Faktoren Bedingungen und Elektrodenpositionen (Fz, FCz, Cz, CPz, Pz, POz) ergab für die Amplituden und Latenzen die folgenden Resultate.

- Latenz: Die Bedingungen unterschieden sich signifikant voneinander ($F(3,20) = 10.206, p \leq 0.0005, \text{ Pillai-Spur} = 0.605$). Der Faktor Elektrode wies ebenfalls einen signifikanten Haupteffekt auf ($F(3,20) = 6.674, p = 0.001, \text{ Pillai-Spur} = 0.650$). Einzelvergleiche zeigten einen signifikanten Unterschied zwischen den Bedingungen Ignore und Ignore-Kontrolle ($p = 0.001$), sowie Attend-Kontrolle und Ignore-Kontrolle ($p = 0.002$).
- Amplitude: Die Ergebnisse der MANOVA zeigten einen signifikanten Haupteffekt Bedingung ($F(3,20) = 9.176, p = 0.001, \text{ Pillai-Spur} = 0.579$) und Elektrode ($F(5,18) = 19,676, p \leq 0.0005, \text{ Pillai-Spur} = 0.845$). Anschließend

berechnete Einzelvergleiche ergaben einen signifikanten Unterschied zwischen der Ignore und der Ignore-Kontrolle-Bedingung für alle Elektroden ($p \leq 0.0005$).

In der Darstellung der Amplitudenwerte der Abbildung 20 fiel auf, dass die für die Pz-Elektrode berechneten Werte nicht die maximalen Werte aller ausgewählten Elektroden einnahmen. Zur genaueren Charakterisierung der P300 Komponente wurde daher noch ein abhängiger t-Test zwischen den Werten der Pz-Elektrode und den Werten für die FCz-Elektrode für alle Bedingungen gerechnet ($\alpha' = 0.05$). Die Unterschiede waren für alle Vergleiche bis auf den Vergleich innerhalb der Ignore-Kontrolle-Bedingung signifikant (Attend: $p = 0.002$; Attend-Kontrolle: $p = 0.001$; Ignore: $p = 0.007$).

4.5 Diskussion der EEG-Untersuchung

4.5.1 NP-Effekt

Insgesamt konnte der schon berichtete NP-Effekt ein weiteres Mal repliziert werden. Da hier keine Veränderung des Paradigmas vorgenommen wurde, gilt für die Ergebnisse der Reaktionszeitmessung ohne Einschränkung die unter Abschnitt 3.6 geführte Diskussion. Der nicht signifikante positive Priming Effekt unterstützt darüber hinaus die bereits von Yee et al. (2000) aufgestellte Vermutung: Es scheinen noch andere kognitive Prozesse als nur der Abruf von episodischen Handlungsinformationen an einem solchen Prozess beteiligt zu sein. Die Differenzen zwischen der EEG-Untersuchung und dem Vorversuch, bezüglich der Höhe des positiven Primings, sind unter anderem auch durch unterschiedliche mathematische Fähigkeiten zwischen den verschiedenen Stichproben erklärbar.

4.5.2 ERP-Image Darstellung

Die Unterschiede für den Latenzbereich der N100, die sich in der ERP-Image Darstellung der Abbildung 14 (Pz-Elektrode) im Vergleich der Bedingungen zeigte, war vermutlich auf zwei Aufmerksamkeitsprozesse zurückzuführen:

Die Differenzen zwischen der Ignore-Bedingung und der Ignore-Kontrolle-Bedingung wiesen auf Unterschiede in den Prozessen der visuellen Aufmerksamkeit hin, die durch die Wirkung des Prime-Distraktors erklärt werden kann. Die Ignore-Kontrolle-Bedingung war von allen dargebotenen Bedingungen die einzige Bedingung, in der weder ein im Prime gesehener Stimulus, noch ein für die Prime-Darbietung verwendeter Ort auf dem Bildschirm wiederholt wurde. Insgesamt war hier also die im Probe präsentierte Information im Verhältnis zum Prime völlig neu. Die damit verbundene erhöhte perzeptuelle Belastung resultierte vermutlich in einer höheren Amplitude der N100-Komponente an der Pz-Elektrode. Die N100-Potenziale der Pz-Elektrode könnten einen allgemeinen selektiven Aufmerksamkeitsprozess abbilden, der nicht mit der Verarbeitung spezifischer Informationen in Verbindung steht. So vermuteten Vogel und Luck (2000), dass die Unterschiede in der N100-Amplitude zwischen Einfach- und Wahlaufgaben eine erhöhte perzeptuelle Anforderung reflektieren. Diese Vermutung ist bezüglich der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit ebenfalls naheliegend. Unter der Attend-Bedingung war sowohl der Zielreiz des Prime und des Probe identisch, wie auch die Bildschirmhälfte in der das Zahlenpaar präsentiert wurde, so wie in 50% der Darbietungen auch der Ort der Präsentation des Zielreizes. Insgesamt ergab sich hier eine größere Menge an Informationen, die einen allgemeinen Aufmerksamkeitsprozess beeinflussen können. Die

flachere N100-Amplitude der Pz-Elektrode reflektiert vermutlich diesen Mechanismus (siehe auch Behrmann & Haimson, 1999). Aufgrund der breiten Verteilung der negativen Potentiale in diesem Latenzbereich fielen die Grand-Mean Amplituden für die Attend-Bedingung und die Attend-Kontrolle-Bedingung flacher aus.

Insgesamt wird die Schlussfolgerung auch gestützt durch die Potenzialverläufe an der P4-Elektrode (Abbildung 15), die offenbar einen spezifischeren Aufmerksamkeitsprozess innerhalb der Zahlenverarbeitung abbildeten. Die hier identifizierten Zeitbereiche und Muster der N100-Aktivität wiesen keine so deutlichen Unterschiede zwischen den Bedingungen auf, wie die für die Pz-Elektrode registrierten Verläufe. Daraus kann geschlossen werden, dass hier ein für alle Bedingungen einheitlicher Prozess stärker erfasst werden konnte als an der Pz-Elektrode: An der P4-Elektrode könnten sich demnach spezifische, mit der Zahlenverarbeitung assoziierte kognitive Prozesse in den Potenzialen der N100-Komponente abbilden. Die Potenzialverläufe der P4-Elektrode (Abbildung 15) in der ERP-Image Darstellung zeigten diese Beeinflussung jedoch nicht in einem so ausgeprägten Maße. Dieser Befund unterstützt die Hypothese, dass hier ein spezifischer Prozess der Zahlenverarbeitung erfasst wurde.

Besonders überraschend war, dass in der Abbildung 16 für die FCz-Elektrode eine deutliche Negativierung im Zeitbereich von 400 ms bis 500 ms identifiziert werden konnte. Dieses negative Potenzial konnte auch in den Grand-Means beobachtet werden, allerdings nicht in dieser deutlichen Unterscheidbarkeit zwischen den Bedingungen. Ohne die zusätzliche Information der ERP-Images wäre diese Komponente vermutlich nicht identifizierbar gewesen. Das zugehörige Potenzial reflektiert einen „N400“-basierten Mismatch-Prozess. Die N400-Komponente tritt dann auf, wenn eine im Probe gegebene semantische Information nicht mit der Information aus dem Prime übereinstimmt (Kutas & Hillyard, 1980). Diese Komponente wurde ursprünglich rein auf die semantische Übereinstimmung von Sätzen, Wörtern und Satzbedeutungen bezogen. Das Entstehen eines solchen Potentials, oder zumindest einer negativen Abweichung mit ähnlicher Funktionalität die in diesem Zeitbereich auftritt (siehe auch Hamm, Johnson, & Kirk, 2002), konnte aber für eine Anzahl unterschiedlicher Stimuli nachgewiesen werden (Bild-Bild: Barret & Rugg, 1990; Bild-Wort: Byrne et al., 1995; Wort-Bild: Ganis et al., 1996; Federmeier & Kutas, 2002). Die Kennwerte der N400 variieren dabei im Vergleich der Befunde zwischen parietalen sowie frontalen Arealen. In einer Arbeit von Niedeggen, Rösler und Jost (1999) fanden sich Hinweise auf

einen arithmetischen N400-Effekt. Die Autoren präsentierten ihren Probanden als Prime-Darbietung eine mathematische Aufgabe und daran anschließend, in der Probe-Darbietung eine falsche oder richtige Lösung dieser Aufgabe. Unter der Präsentation der falschen Lösung wurde ein im Verhältnis zur richtigen Lösung negativeres Potenzial an parietalen Elektroden gemessen.

In den Ergebnissen des EEG-Versuchs fand sich ein ähnlicher Effekt an den frontalen Elektroden. Dieser Effekt ist vermutlich auf die konzeptuelle Verbindung von Prime und Probe innerhalb der beiden Ignore-Bedingungen zurückzuführen. Hier wurde vom Prime auf den Probe immer das Konzept für die Zielreizauswahl geändert: Wenn der Zielreiz im Prime eine gerade Zahl war, musste im Probe auf die ungerade Zahl geachtet werden und umgekehrt. Dieser ständige Wechsel bedingte, dass der Probe nie zu der konzeptuellen Zielreizauswahl-Information des Prime kompatibel war. Insgesamt resultierte daraus eine inhaltliche Abweichung die einen N400-Effekt begründen kann. Die im Gegensatz zur Arbeit von Niedeggen, Rösler und Jost (1999) registrierte frontale Orientierung dieser Komponente könnte durch eine, zu diesem Zeitpunkt schon aktive Verarbeitung des zweiten Teils der Aufgabe (Teilbarkeit) erklärt werden. Nach dem Triple-Code-Modell (Dehaene, 1992; Dehaene & Cohen, 1995) repräsentiert die Aktivität in frontalen und präfrontalen Arealen, Strategien- und Planungsaspekte innerhalb der Zahlenverarbeitung. Die Aktivierung dieser Areale könnte durch die N400 angezeigt werden bzw. sich mit dem assoziierten Mismatch-Prozess überlagern. Ein ähnliches negatives Potenzial war ebenfalls schwächer ausgeprägt in den Amplituden der beiden Attend-Bedingungen sichtbar. Entsprechend der N400-Annahme sollte hier auch nur ein schwächeres Potenzial zu finden sein, da aufgrund der sich nicht unterscheidenden Zielreizauswahl auch kein Mismatch zwischen Prime und Probe vorlag. Das hier gemessene negative Potenzial wäre demnach allein auf Prozesse der Zahlenverarbeitung zurückzuführen.

Insgesamt kann für diese N400-ähnliche Aktivierung festgestellt werden, dass eine solche Komponente allein durch die Versuchsbedingung erklärbar ist: Die Negativ-Priming-Bedingung in einem NP-Experiment beruht immer auf dem Wechsel in der lösungs-relevanten Information zwischen Prime und Probe. Dabei ist es nebensächlich ob die Information aus dem Präsentationsort des Distraktors besteht oder wie im hier verwendeten Paradigma aus dem Wechsel der Eigenschaft „gerade vs. ungerade“.

Die zwischen den Bedingungen unterschiedlich ausgeprägte positive Aktivierung im Zeitbereich der P300 an der FCz-Elektrode scheint die Befunde der Amplituden-Analyse (4.4.3) zu bestätigen. Aus der zugehörigen Darstellung war

ersichtlich, dass die höchsten Amplituden für die P300 an der FCz-Elektrode gemessen wurden, bei Betrachtung über alle Probanden. Die Darstellung der Grand-Means zeigte diesen Effekt nicht. Hier schienen alle Bedingungen ähnliche Werte aufzuweisen, mit Ausnahme der Ignore-Kontrolle-Bedingung, die einen insgesamt gedämpfteren Potenzialverlauf zeigte. Die ERP-Image Darstellung der Abbildung 16 zeigt die Gründe für die Differenz zwischen den beiden Analyse-Methoden. Die P300 Aktivität war hier insgesamt zeitlich ausgedehnt verteilt (150 ms – 350 ms), so dass für das gemittelte Potenzial eine breite und flache Positivierung berechnet wurde. Dieser Befund zeigt eine der Schwächen des arithmetischen Mittelungsprozesses der EEG-Potenziale: Wenn in den Potenzialverläufen, die in die Berechnung einer Komponente eingehen, eine größere Variabilität bezüglich der individuellen Werte eingeht, resultiert dies in einem gedämpften Grand-Mean (siehe auch Cooper, Osselton, & Shaw, 1980).

4.5.3 N100: Frühe Selektion

Die Analyse der temporo-parietalen Region zeigte dass die Elektroden T5, P5, P3, Pz, P4, P6 und T6 die höchsten Werte der Amplituden aufwiesen, bei Betrachtung über die gesamte Kopfoberfläche. Die Amplitude der N100-Komponente war dabei maximal für die rechts-parietalen Elektroden ab Pz, und zwar gleichermaßen über alle Bedingungen. Die kortikalen Areale, die durch diese Elektroden erfasst wurden, scheinen mit den Lokationen äquivalent zu sein, die in der Darstellung des Triple-Code-Modells (Dehaene, 1992; Dehaene & Cohen, 1995) mit der Enkodierung von visuell dargebotenem Zahlenmaterial und dem Größenvergleich zwischen Zahlen assoziiert werden. Diese Felder sprechen auf die visuelle Darbietung von Zahlenmaterial an. In der visuellen arabischnumerischen Repräsentation, sind Zahlen als eine Folge von Zeichen in einer Art internem, visuell räumlich angelegten Notizblock gespeichert. Die so beschriebene Repräsentation ist dabei als Analogon zu einem Zahlenstrahl zu sehen. Die zugehörige mentale Repräsentation beinhaltet die obligatorische Aktivierung einer beidseitigen ventromesialen, occipito-temporalen Bahn, die die Identifizierung von arabischen Zahlen und eine Beurteilung der „gerade/ ungerade“-Eigenschaft einer Zahl erlaubt (Chochon et al., 1999). Aus Untersuchungen an Split-Brain Patienten mit intakter rechter Gehirnhälfte, bei denen die Fähigkeit des „Zahlenvergleichens“ unversehrt geblieben ist, weiß man, dass die rechte inferior-parietale Region eine weitaus höhere Aktivität während einer solchen Aufgabe aufweist. Diese Region wurde im vorgelegten Experiment 2 durch die Aktivität an den Pz-, P4- und P6-Elektroden beschrieben. Es kann für die Ergebnisse des Experiments 2 hieraus geschlossen werden, dass der Zielreiz des

dargebotenen Zahlenpaares während der Phase der N100 erst einmal auf einer visuell-perzeptuellen Basis identifiziert wurde, unter besonderer Aktivierung der rechts parietalen Areale. Diese Vermutung ist naheliegend, da dieser Effekt gleichermaßen in allen Bedingungen zu sehen war.

4.5.4 P300: Späte Selektion und NP-Effekt

Der für den Vergleich zwischen der Ignore-Bedingung und der Ignore-Kontrolle-Bedingung signifikante Unterschied in der Amplitude stellte den NP-Effekt des EEG-Experiments auf der zentralnervösen Ebene dar.

Der Befund, dass die P300 für alle Bedingungen mit Ausnahme der Ignore-Kontrolle-Bedingung ihre maximale Ausprägung an der FCz-Elektrode im frontalen Bereich hatte, zeigte, dass es sich bei dieser Komponente tatsächlich nicht nur um eine „klassische“ P300 handeln könnte. Die klassische P300 wird als eine P300-Welle mit einer maximalen Ausprägung an der Pz-Elektrode verstanden. Weiterhin konnte im Vergleich der Amplituden gezeigt werden, dass der Unterschied zwischen den Werten der Ignore und der Ignore-Kontrolle-Bedingung über alle Elektroden, inklusive der Pz-Lokation, signifikant war. Dieser Vergleich wird als der in diesem Versuch relevante Nachweis für einen NP-Effekt auf kortikaler Ebene interpretiert. Die in Experiment 2 gefundenen Ergebnisse können darüber hinaus mit zwei weiteren Aspekten in Verbindung gebracht werden:

- Zum einen wird in der Literatur die Ansicht vertreten, dass der gesamte P300-Komplex im Zeitbereich zwischen 200 ms und 600 ms aus positiven Wellen zusammengesetzt ist, die eine unterschiedliche kognitive Funktionalität anzeigen (Spencer, Dien, & Donchin, 1999). Wie bereits dargestellt wurde, ist die Benennung und Interpretation der Komponenten positiver Polarität in diesem Latenzbereich mit einer erheblichen Konfundierung der Begriffe verbunden (siehe auch Kutas & Dale, 1997). Die Klassifizierung der hier berichteten P300 als P3a mit unspezifischem Charakter (Ergenoglu, 1998) würde nach den bisherigen Befunden der Literatur voraussetzen, dass diese Komponente eine Reaktion auf Stimuli wäre, auf die nicht reagiert werden sollte (Squires et al., 1975). Ebenfalls kann die Komponente trotz ihres frontalen Maximums nicht der Neuigkeits-P300 zugeordnet werden, da keine neuen Stimuli präsentiert wurden, die eine solchermaßen bezeichnete P300 hervorrufen könnten. Die mögliche Zuordnung der an FCz maximalen positiven Welle als einer P3a oder einer Neuigkeits-P300 ist damit insgesamt nicht

gegeben. Die an der FCz-Elektrode registrierte P300 des Experiments 2 könnte einen Teilaspekt einer Kontext-Updating-Prozedur darstellen, die der Einordnung neuer Informationen in den durch den Prime etablierten Kontext dient (siehe auch Gopher & Donchin, 1986; Kramer, 1987; Kramer, Strayer, & Buckley, 1991). Dass die beiden Attend-Bedingungen ebenfalls eine Aktivität bezüglich dieser Subroutine zeigten, lag vermutlich an der Stimuluskonzeption. Die Attend-Bedingung war die einzige Bedingung in der Prime- und Probe-Zielreiz identisch waren. Die Einordnung dieser Information in den Kontext des Versuchs kann als das Ereignis gewertet werden, das eine Kontext-Einordnung auslösen kann. In der Attend-Kontrolle-Bedingung war in 50% der Darbietungen der Ort an dem im Prime der Distraktor präsentiert wurde, identisch mit dem Ort, an dem im Probe der Zielreiz gezeigt wurde. Auch die Einordnung dieser Information kann durch die P300 angezeigt werden.

- Zum anderen erfüllten die für die Pz-Elektrode registrierten Befunde die Definition einer klassischen P300. Zur inhaltlichen Interpretation lassen sich hier andere Befunde, wie sie zum Beispiel in der Studie von Castro und Diaz (2001) berichtet wurden, anführen: Hier konnte gezeigt werden, dass die Amplitude der P300 mit der Relevanz, die ein Stimulus für die Ausführung einer Aufgabe hat, variiert: Je wichtiger der Stimulus für die korrekte Beantwortung der Aufgabe ist, desto größer war die gemessene Amplitude. In den Ergebnissen der EEG-Untersuchung des Experiments 2 ließ sich, sowohl bei visueller Inspektion der Grand-Means als auch durch die Betrachtung der Amplitudenwerte zeigen, dass die P300 für die Ignore-Bedingung die höchsten Werte annahm. Daraus kann geschlossen werden, dass der im Probe dieser Bedingung gezeigte Zielreiz, als besonders wichtig eingeschätzt wurde. Dieses „Mehr“ an Relevanz, im Vergleich zu den anderen Bedingungen, lässt sich dabei durch die erhöhte Verarbeitung des Distraktors im Prime erklären. Die größere P300 könnte zum einen im Sinne eines verstärkten Zugriffs auf das Arbeitsgedächtnis gewertet werden, und daher das Bemühen erkennen lassen, die gegenläufigen Informationen zwischen Prime (nicht reagieren) und Probe (reagieren) aufzulösen. Zum anderen wäre eine höhere P300 dadurch erklärbar, dass der Zielreiz des Probe in der Ignore-Bedingung mehr handlungsrelevante Information als die Zielreize der übrigen Bedingungen enthält (Gratton et al., 1990). In der Attend-Bedingung war die Information bezüglich des Zielreizes in Prime und Probe gleich, also sollte daraus auch eine insgesamt geringere Informationsmenge resultieren. Für die Präsentation der Attend-Kontrolle-Bedingung und der Ignore-Kontrolle-Bedingung sollte die

Feststellung gelten, dass deren Zielreize die geringste Menge an Information enthalten. Der Unterschied in den Amplituden, der zwar nicht signifikant war, könnte auf die teilweise vorhandene Überlagerung räumlicher Informationen zwischen Prime und Probe Stimuli zurückzuführen sein. Da zwischen Prime und Probe in dieser Bedingung kein Wechsel der Bildschirmhälfte stattfand, ergab sich zwangsläufig eine teilweise Überlagerung der Präsentationsorte.

Obwohl die Ansichten über die exakten Prozesse, die durch die P300 indiziert werden auseinandergehen (siehe auch Übersichtsarbeit Fabiani, Gratton, & Coles, 2000), werden die Amplitude und Latenz dieser Komponente oft genutzt, um einzuschätzen ob eine experimentelle Manipulation die Stimulus-Evaluation und Kategorisierung beeinflusst. Unter diesem Aspekt sind die signifikanten Latenzunterschiede der P300 der vorgelegten Arbeit zu bewerten. Für eine Einordnung der absoluten Werte der Latenzen ergab sich folgendes Größenverhältnis: Ignore-Kontrolle > Ignore > Attend > Attend-Kontrolle. Die so dargestellte Abstufung der P300-Latenz schien damit in einem direkten Zusammenhang mit der durch die Amplitude der N100-Komponente angezeigten perzeptuellen Aktivität zu stehen. Je höher die N100-Amplitude war, desto höher war die Informationsmenge die in perzeptuell-räumlichen Prozessen verarbeitet werden musste. Die dadurch bedingte Verzögerung in der Weitergabe der Information fand sich in den Latenzen der P300-Komponenten. Der Einfluss auf die Reaktionszeit war aber, wie bereits dargestellt, nicht proportional zur Größe der Latenz. Dieses Resultat ist aus der Literatur hinreichend bekannt (Gratton et al., 1990).

4.5.5 Potenzialverläufe und Zahlenverarbeitung

Die N400 zeigt eine nicht übereinstimmende Kontext-Information zwischen Prime und Probe an. Damit wäre die in den ERP-Images gefundene N400 eigentlich der ideale Indikator eines NP-Effekts in den EKPs. Wie aber bereits in der Diskussion der ERP-Images dargestellt wurde, muß eine solche Komponente zwangsläufig in einem NP-Experiment registriert werden, das auf einer konzeptuellen Verarbeitung basiert.

Innerhalb der Diskussion zur Zahlenverarbeitung ist zu erörtern, welcher Prozess der Aufgabenverarbeitung mit dem Übergang zwischen P300 und N400 beendet wird. Für die Resultate der vorliegenden Arbeit wird angenommen, dass zu diesem Zeitpunkt entschieden worden ist welche der präsentierten Zahlen für die weitere Bearbeitung bezüglich der Teilbarkeit durch drei (ja vs. nein) ausgesucht wurde. Dieser Befund stützt sich dabei auf die folgenden Überlegungen:

- Die Latenz der N400 zeigt an, dass eine Diskrepanz zwischen der Bedeutung der im Prime und Probe präsentierten Zielreize vorlag (Coul, 1997). Zu diesem Zeitpunkt sollte also die Verarbeitung der inhaltlichen Information eines Reizes abgeschlossen sein. Daraus könnte hier auch geschlossen werden, dass die Auswahl des Zielreizes einen über alle Versuchspersonen und Darbietungen einheitlichen Zeitverlauf aufwies.
- Allgemeine Befunde zu arithmetischen Aufgaben zeigen, dass die Art und Weise wie die Lösungen berechnet werden sehr variabel ist (LeFevre et al., 1996). Weiterhin gilt, dass diese Variabilität, sowohl für die Reaktionszeiten im Vergleich zwischen Versuchspersonen, als auch innerhalb einer Versuchsperson beobachtet werden kann. Demnach kann angenommen werden, dass die Lösung einer Teilbarkeitsaufgabe, übertragen auf die EEG-Terminologie als Rauschen verstanden werden kann, also eine Aktivität darstellte, die nicht konsistent in der Zeit über alle Durchgänge in die gemittelten Potenziale einging. Ein derartig charakterisierter Potenzialverlauf würde ab einem bestimmten Zeitpunkt keine eindeutig identifizierbaren Komponenten aufzeigen. Genau dieses Ergebnis war in den Potenzialverläufen der Grand-Means und der ERP-Images des Experiments 2 deutlich zu sehen.
- Bei besonders schnellen Reaktionen auf arithmetische Probleme wird ein direkter Gedächtnisabruf der Lösung angenommen (LeFevre & Bisanz, 1986). Das ließ sich in den dargestellten Potenzialen für die kurzen Reaktionszeiten beobachten. Die hier trotzdem registrierte N400-Komponente widerspricht dem nicht. Sie kann, ähnlich wie die P300, ebenfalls noch nach einer erfolgten Reaktion beobachtet werden.
- In der Originalarbeit von Yee et al. (2000) wurde auch eine experimentelle Bedingung untersucht, die eine „flachere“ kognitive Verarbeitung initiieren sollte. In dieser Bedingung wurde der Zielreiz entsprechend einer, den beiden Bildschirmhälften des Präsentationsmonitors zugeordneten Farbe identifiziert, daran anschließend sollte die Teilbarkeit durch drei (ohne Rest) beurteilt werden (ja vs. nein). Der NP-Effekt dieser perzeptuellen Unterscheidung war wesentlich niedriger (8 ms) als der NP-Effekt, der auf der konzeptuellen Unterscheidung (gerade vs. ungerade) basierte. Die Differenz der Mittelwerte zwischen den Zielreizauswahl-Bedingungen lag für die Ignore-Bedingung und die Ignore-Kontrolle-Bedingung bei etwa 500 ms. Dies entspricht in etwa der Größenordnung der Zeit, die im EEG-Versuch mit Hilfe der N400-Komponente für die Beendigung der Zielreizauswahl angegeben werden könnte.

Werden diese Argumente zusammen betrachtet, dann kann folgender hypothetischer Verlauf für die kognitive Verarbeitung einer „gerade vs. ungerade“ Entscheidung konstruiert werden:

- Stufe 1: Die große Vertrautheit mit kleinen Zahlen sorgt dafür, dass der potenzielle Zielreiz zuerst nach perzeptuellen Merkmalen ausgesucht wird. Dieser Prozess wird durch die N100-Komponente markiert.
- Stufe 2: Der potenzielle Zielreiz wird überprüft und mit dem Auftreten der N400-Komponente ist die Entscheidung darüber abgeschlossen, ob dieser Zielreiz auch weiterverarbeitet werden soll.
- Stufe 3: Ab etwa 400 ms kann die Teilbarkeitsaufgabe bearbeitet werden.

Die soeben skizzierte Modellvorstellung ist natürlich idealisiert und in dieser Form nur für einen „mittleren“ Entscheidungsprozess gültig. Bei besonders schnellen Reaktionen wird allein schon die Stufe 1 zur Lösung der Aufgabe genügt haben. Hier trafen dann in einer Idealkombination alle notwendigen Verarbeitungsschritte aufeinander, so dass die Lösung direkt aus dem Gedächtnis abgerufen werden konnte. Die Variabilität, die in den ERP-Images über alle Bedingungen zu sehen ist, würde sich auch anhand dieser drei Stufen erklären lassen. So konnte es bei einigen Durchgängen vorkommen, dass zuerst die falsche Zahl ausgesucht wurde, und dass dieser anfängliche „Fehler“ im weiteren Zeitverlauf korrigiert werden musste.

5. Generelle Diskussion und Ausblick

5.1 Reaktionszeiten und Modellannahmen des NP-Effekts

In der Replikation des Experiments von Stadler et al. (2001) wurde zum einen die mangelnde Verarbeitungstiefe und zum anderen die geänderte Art der Darbietung als Gründe für das nicht Eintreten eines NP-Effekts identifiziert. Der Distraktor wurde in diesem Experiment nicht explizit dargeboten, sondern sollte durch die Probanden mental erzeugt werden. Diese kognitive Repräsentation sollte dabei, entsprechend der Argumentation von Stadler et al. (2001), durch die Wirkung eines, automatisch aktivierten Abzähl- bzw. eines Additionsprozesses initiiert werden. Wie in der Diskussion zum Experiment 1 gezeigt wurde (Abschnitt 2.5.3), war dieser Prozess, wenn überhaupt, nur bei einigen Probanden wirksam. Im Gegensatz zur Stadler-Studie, in der die Probanden sofort nach dem Einblenden der Stimuli reagieren sollten, war im Experiment 1 die Reaktion an das Ausblenden der Stimuli gekoppelt. Die jeweilige Präsentationszeit der Stimuli betrug dabei 750 ms, dies entspricht in etwa der mittleren Reaktionszeit der Probanden in der Studie von Stadler et al. (2001). Es kann angenommen werden, dass die Mehrzahl der Probanden des Experiments 1, die vollständige Entscheidung darüber bereits abgeschlossen hatten, welche Taste zur Beantwortung der Aufgabe zu drücken war. Damit fiel auch eine mögliche Interferenz zwischen Prime und Probe weg.

Eine weitere Schlussfolgerung, die sich aus den geänderten Parametern der Darbietung ergibt, ist, dass die Zusammengehörigkeit der Prime-Probe Paare verändert wurde. In der Studie von Stadler waren die Pausen zwischen den einzelnen Couplets so gewählt worden (2000 ms), dass sich ein stärkerer Zusammenhang innerhalb der Couplets ergab, der inhaltliche Zusammenhang der Prime-Probe Paare wurde so betont.

Eine abschließende Beurteilung der Ergebnisse des Experiments 1 im Zusammenhang mit einer inhibitionsbasierten- oder einer gedächtnisbasierten Modellannahme des negativen Primings kann hier nicht gegeben werden: Für beide Modellannahmen gilt, dass die entsprechenden Mechanismen durch den Prime-Distraktor aktiviert werden müssen, der im Probe zum Zielreiz wird. Auch für eine „erfolgreiche“ Inhibition muss der Distraktor in irgendeiner Form vorhanden sein. Die „mentale Repräsentation“ des Distraktors, durch die Zahlenpaare des Prime, schien aber im Experiment 1 nicht ausreichend gewesen zu sein, die notwendigen Prozesse des negativen Primings zu aktivieren.

Die Ergebnisse des Vorversuchs zum Experiment 2 und die im Experiment 2

gemessenen Reaktionszeiten, sowie der NP-Effekt lagen in derselben Größenordnung wie die Befunde des Originalexperiments von Yee et al. (2000). Nach dem Episodic-Retrieval-Ansatz (Neill & Valdes, 1992) bewirkt eine gründliche Enkodierung der Stimuli im Prime-Durchgang eine stärkere Gedächtnisspur aufgrund einer erhöhten Aufmerksamkeit gegenüber dem Prime-Distraktor. Wenn die abgerufene Gedächtnisspur inkompatibel zum Probe-Zielreiz ist, entsteht demnach starkes negatives Priming. Im Falle des Positiv-Priming-Effekts bestand keine Inkompatibilität zwischen Probe-Zielreiz und wiederabgerufener Gedächtnisspur, weil Prime- und Probezielreiz identisch waren. Nach Yee et al. (2000) bewirkt eine konzeptuelle und damit tiefgehende Verarbeitung bei der Zielauswahl so lange eine Verzögerung des Entscheidungsprozesses, ob ein Distraktor ignoriert werden soll oder nicht, bis genügend Informationen zur Verfügung stehen, um diese Entscheidung fällen zu können. Das erinnert wiederum an die Theorie der zeitlichen Unterscheidbarkeit von Milliken et al. (1998). Solange nicht geklärt ist, ob der im Probe dargebotene Zielreiz als neu oder alt eingestuft werden soll (Orientierungsprozess), kann keine zutreffende Reaktion ausgewählt werden (automatischer Abrufprozess), was zu einer zeitlichen Verzögerung der Reaktion im Vergleich zur Kontrollbedingung führt und damit zu negativem Priming. Im Falle von positivem Priming wird der Probe-Zielreiz eindeutig als „alt“ identifiziert, was eine beschleunigte Reaktion ermöglicht. Die Ergebnisse des vorliegenden Experiments sprechen demzufolge sowohl für die Episodic-Retrieval-Theorie als auch für den Temporal-Discrimination-Ansatz, da beide Theorien mit Abrufprozessen in Verbindung mit negativem Priming argumentieren. Somit wird negatives Priming als ein gedächtnisbasierter Prozess erklärt.

Eine Interpretation der vorliegenden Ergebnisse anhand des inhibitionstheoretischen Ansatzes scheitert an der Voraussetzung dieses Modells, dass Distraktoren ignoriert und folglich gehemmt werden müssen, damit bei nachfolgender Darbietung des Prime-Distraktors als Probe-Zielreiz negatives Priming entstehen kann. Im Vorversuch und dem Experiment 2 wurden die Probanden durch die konzeptuelle Aufgabenstellung dazu aufgefordert, die dargebotenen Distraktoren zu studieren und diese nicht zu ignorieren. Es erscheint daher kaum möglich, dass ein Reiz gehemmt wird, der im Zuge von Vergleichs- und Entscheidungsprozessen aktiv verarbeitet wurde. Der Sachverhalt mag dabei noch weitaus komplexer gewesen sein, als hier dargestellt. Auf der Basis der von Yee et al. (2000) vorgenommenen Aufteilung der Verarbeitung in eine Phase der Zielreizauswahl und der Antwortauswahl lässt sich auf mehrere mögliche Inhibitionsprozesse schließen. So kann bereits auf der Stufe der Zielreizauswahl in einem Durchgang ein Inhibitionsmechanismus dafür gesorgt

haben, dass der Distraktor dieser Stufe für die weitere kognitive Verarbeitung unberücksichtigt bleibt. Da diese Auswahl sowohl im Prime als auch im Probe getroffen werden musste wäre auch eine Interaktion der Prozesse nicht auszuschließen. An dieser Stelle und mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit kann diese Problematik aber nicht weiter geklärt werden.

Des Weiteren scheidet die Feature-Mismatching-Theorie (Park & Kanwisher, 1994) ebenfalls als Erklärungsansatz aus, da die Wechsel in der räumlichen Darbietung der Stimuli zwischen den Prime- und Probe-Durchgängen vollständig ausbalanciert waren. Somit sollte auch keine Lokalisations-Identitäts-Inkongruenz entstanden sein.

5.2 EEG-Befunde und Modellannahmen des NP-Effekts

Für den zeitlichen Bereich der Potenzialverläufe, der durch die N100 charakterisiert wird, lässt sich festhalten, dass keine Unterschiede zwischen den Bedingungen vorlagen, die als hirnanatomisches Korrelat eines NP-Effekts gelten konnten. Die signifikanten Unterschiede in den Amplituden der betrachteten temporoparietalen Elektrodengruppe, im Vergleich zwischen den Gruppen, waren allein auf perzeptuelle Prozesse zurückzuführen. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass Amplituden-Unterschiede mit spezifischen Prozessen der Zahlenverarbeitung assoziiert waren. Insbesondere die an den P4-/P6-Elektroden registrierten Potenzialänderungen, im Zeitbereich zwischen 120 ms und 200 ms lassen sich, als eine eigenständige Komponente der Zahlenverarbeitung interpretieren. Die Lokation bzw. die kortikalen Areale, die von diesen Elektroden erfasst wurden, scheinen mit den Arealen überein zustimmen, die im funktionell-anatomischen Triple-Code-Modell von Dehaene (1992) für die Bearbeitung von Zahlen innerhalb einer Vergleichsaufgabe zuständig sind (Dehaene & Cohen, 1995; Deloche & Willmes, 2002).

Unter besonderer Berücksichtigung der Potenziale an der P4-Elektrode konnte davon ausgegangen werden, dass die Auswahl der Zielreize zunächst einmal auf visuell-perzeptuellen Prozessen beruhte. Hier kann angenommen werden, dass aufgrund einer Vertrautheit mit kleinen ganzen Zahlen automatisch die „gerade vs. ungerade“-Entscheidung durchgeführt wird. Diese Vertrautheit war auch im Experiment von Stadler et al. (2000) vorausgesetzt worden. Die Befunde der Literatur (LeFevre et al., 1988; Miller et al., 1984) stützen die Annahme, dass Zahlenstimuli vertraut sind und eine automatische Aktivierung von Wissensinhalten bedingen können, die mit dem Stimulus assoziiert sind. Wie bereits weiter oben diskutiert wurde, sollte aber in der zu bearbeitenden Aufgabe

tatsächlich nach einer mathematischen Lösung gefragt werden um den Abruf assoziierter Wissensinhalte zu initiieren. Diese Bedingung war im Experiment 2 gegeben. Weiterhin wurde ersichtlich, dass erst nach der visuell-perzeptuellen Auswahl die kognitive Überprüfung des Zielreizes (gerade vs. ungerade) stattfand. Innerhalb der mit der Überprüfung in Verbindung stehenden Potenzialverläufe zeigte sich eine positive Komponente an der FCz-Elektrode sensitiv für den, unter der Ignore-Bedingung induzierten, inhaltlichen Widerspruch zwischen Prime-Distraktor und Probe-Zielreiz. Der zugehörige Prozess kann im Zusammenhang mit einer Kontext-Überprüfung im Arbeitsgedächtnis gewertet werden (Gopher & Donchin, 1986; Kramer, 1987; Kramer, Strayer, & Buckley, 1991).

Über die Art und Weise, wie die Probanden nach der Identifikation des Zielreizes die Beurteilung der Teilbarkeit durchführten, kann nur spekuliert werden. Die Befunde der Literatur, die in der vorgelegten Arbeit zur Zahlenverarbeitung zitiert wurden, können auch nur eine vage Auskunft über die möglichen Lösungswege arithmetischer Aufgaben geben. LeFevre et al. (1996) schrieben zu diesem Aspekt:

“Psychological research has indicated that even simple problems may require a strategic sequence of steps and hence the storage of intermediate results.”

Diese Vermutung scheint sich auch in den Potenzialverläufen der EKPs durch eine flache Linie ab etwa 450 ms zu bestätigen. Ab diesem Zeitpunkt konnten keine charakteristischen Komponenten oder Verläufe in den Daten identifiziert werden, weder in den Grand-Means noch in den ERP-Images. Bei einem solchen Resultat kann davon ausgegangen werden, dass die zeitliche Struktur der kognitiven Prozesse, die zur Beantwortung der Aufgabe aktiviert werden, keine einheitliche Verteilung über alle Durchgänge aufweist. Die strategischen Sequenzen, die zur Lösung des mathematischen Problems eingesetzt wurden, scheinen sich demnach zwischen den Durchgängen zu unterscheiden.

Die Befunde der Amplitudenwerte und die ERP-Image Darstellungen (Abbildungen 14 – 16) deuten darauf hin, dass die Wiederholung einer Information aus dem Prime, sich in den frühen Potenzialen (bis N100) der Probe-Darbietung als eine Erleichterung der zu bearbeitenden Aufgabe äußert. Vorausgesetzt werden muss hier allerdings, dass die Höhe der N100-Amplitude auch als geeignete Messgröße für die Belastung durch eine Aufgabe gelten kann, wie Haider, Spong und Lindsley (1964) feststellten. Hier sollte also gelten: Je höher die Amplitude, desto größer ist die perzeptuelle Aufmerksamkeit die dem Stimulus zugeordnet wird. Diese Annahme scheint auch für die Interpretation der

Ergebnisse des EEG-Versuchs Sinn zu machen, da die Bedingung mit der höchsten Amplitude, nämlich die Ignore-Kontrolle-Bedingung sowohl räumlich als auch inhaltlich eine neue Information in der Probe-Darbietung enthielt. Die anderen Bedingungen, in denen zumindest ein Teil der Information aus dem Probe wiederholt wurde, hatten signifikant niedrigere Amplituden. Die Schlussfolgerung aus diesen Befunden sprach in diesem Paradigma insgesamt gegen eine mögliche frühe Selektion, die einen NP-Effekt verursacht.

5.3 Fazit und Ausblick

Das hier durchgeführte Experiment 2 war die erste Arbeit überhaupt, die eine Verbindung zwischen negativem Priming, Zahlenstimuli und möglichen EKP-Korrelaten untersuchte. Sowohl die berichtete N100-Komponente, als auch die P300-Komponente können als eigenständige EKP-Bestandteile gelten. Wie in den betreffenden Punkten der Diskussion gezeigt wurde, wiesen die Komponenten auch Charakteristika auf, die sensitiv für das spezielle Stimulusmaterial und die induzierten Rechenprozesse waren. Es konnte insgesamt gezeigt werden, dass sich einzelne Komponenten, die allgemein sensitiv für die Art und Weise der Präsentation sind ebenfalls durch die hier gemessenen EKPs abbilden ließen. An dieser Stelle ist der klassische Anteil der P300 an der Pz-Elektrode, und die N400 zu nennen. Alle anderen diskutierten Komponenten sind als spezifisch für das verwendete Paradigma anzusehen. Die P300 zeigte dabei in erster Linie den Unterschied einer Information zwischen Prime und Probe an. Die N100-Komponente kann, wie oben dargestellt, als spezifisch für die Zahlenverarbeitung angesehen werden. Auf die Vergabe einer neuen Bezeichnung wird in dieser Arbeit verzichtet, es scheint erst einmal angebracht zu sein die Ergebnisse der Untersuchungen zu replizieren. Eine Weiterführung der Untersuchungen sollte dann auch neues Zahlenmaterial und ähnliche Aufgabenstellungen berücksichtigen.

Die hier verwendete Methode der ERP-Image Analyse liefert eine wertvolle Bereicherung zur Interpretation und Diskussion der klassisch-gemittelten EEG-Potenziale. Die ERP-Image Technik ist eine visuelle Darstellung der Varianz, die durch die Potenziale einer komplexen Aufgabe gegeben ist. Um einschätzen zu können, wie gut das mittlere Potenzial oder auch die innerhalb einer Auswertung extrahierten Komponenten die Wirkung einer experimentellen Aufgabe beschreiben können, wird die Verwendung dieser Methode empfohlen. Wie Donchin et al. (2000) bereits feststellten, sollte die durch die Darstellung der Grand-Means gegebene Information durch die Darstellung der Daten

repräsentativer individueller Mittelwerte ergänzt oder ersetzt werden, wenn die Grand-Means nicht in der Lage sind das betrachtete Phänomen zu charakterisieren. Wie sich in den hier präsentierten Resultaten gezeigt hat, gilt dieses nicht nur für individuelle Personen, sondern auch für Aufgaben, die in Abhängigkeit von Faktoren wie mentaler Belastung und Reaktionszeit unterschiedliche Verläufe in den Potenzialen zeigen können. Auf der Grundlage dieser Technik lässt sich sehr gut einschätzen, welche zeitliche Breite eine bestimmte Aktivität im EEG tatsächlich einnimmt. Diese Darstellung in Kombination mit den Grand-Means liefert ein umfassendes Bild, das in der Lage ist auch komplexe kognitive Vorgänge und Aktivierungen zu erfassen.

Insgesamt unterstützen die Befunde des EEG-Experiments die Theorie zum Episodic-Retrieval und zur temporalen Unterscheidbarkeit: Die hier registrierte P300-Komponente kann dabei als ein Bestandteil eines Updating-Prozesses im Arbeitsgedächtnis gewertet werden. Die Frage ist nun, ob dieser Prozess selbst negatives Priming verursacht oder nur eine notwendige Voraussetzung für das Entstehen der Reaktionszeitverzögerung ist. Gerade wenn die P300-Komponente betrachtet wird, die auch sensitiv für Prozesse ist, die nicht unmittelbar zum Entscheidungsprozess für die Beantwortung einer Aufgabe beitragen (Gratton et al., 1990), dann ist es denkbar, dass eine erhöhte Amplitude oder Latenz nur eine notwendige Voraussetzung für einen zentral-nervösen Indikator des negativen Primings darstellt. Dieser Prozess sollte durch entsprechende Widersprüche in aufeinander folgenden Darbietungen getriggert werden können.

Zu guter Letzt soll eine Erörterung der durch den Titel der Arbeit gestellten Frage „Beachten oder ignorieren?“ erfolgen. Die Ergebnisse des Experiments 1 haben gezeigt: Wenn kein Distraktor zu beachten oder zu ignorieren ist, dann kann auch kein negatives Priming gemessen werden. Die weiteren Untersuchungen des Experiments 2 haben gezeigt: Je mehr etwas beachtet wird, desto größer ist der NP-Effekt. Es wäre nun interessant im weiteren Verlauf ein Paradigma zu entwickeln, das auch ein stärkeres Missachten bzw. Ignorieren induzieren könnte. Die Erörterung bewegt sich dann auch auf einer philosophischen Ebene: Um etwas ignorieren zu können, muss man wissen, dass es vorhanden ist. Das Wissen über das Vorhandensein beinhaltet aber zwangsläufig auch, dass einem Objekt vorher Aufmerksamkeit zu teil geworden ist. Die Frage wird also an dieser Stelle nicht beantwortet, sondern sie fokussiert stattdessen die Erforschung des NP-Phänomens mittels weiterer geeigneter Paradigmen.

6. Zusammenfassung

Im Mittelpunkt der vorgelegten Arbeit steht ein in den letzten Jahren intensiv untersuchtes Phänomen der Leistungsbeeinträchtigung. Tipper (1985) fasste die zugehörige Beobachtung unter dem Begriff „negatives Priming“ zusammen: Die Leistung einer Person verschlechtert sich, wenn bei einer sukzessiven Darbietung von Informationen, zuerst eine bestimmte Information ignoriert werden soll, und diese dann im nächsten Durchgang relevant für die Beantwortung einer experimentellen Aufgabe ist. Die Erklärungsmodelle zum negativen Priming basieren auf zwei unterschiedlichen Annahmen: Zum einen wird die Wirkung eines zentralen Inhibitionsmechanismus angenommen, zum anderen wird die Generierung einer Gedächtnisspur postuliert, die charakteristische Informationen über jeden präsentierten Stimulus enthält. Negatives Priming basiert in beiden Modellannahmen auf der Interferenz, der in aufeinander folgenden Darbietungen enthaltenen Informationen. Der vom Gehirn registrierte Widerspruch kann zum Beispiel mit den klassischen Verhaltensmaßen, Reaktionszeit und Fehlerrate, gemessen werden. Eine Vielzahl von Befunden auf der Basis dieser Messgrößen hat gezeigt, dass negatives Priming durch verschiedene Stimuli und in verschiedenen Modalitäten ausgelöst werden kann.

Mit der vorgelegten Arbeit sollte ein weiterer Beitrag zur bisherigen Befundlage geleistet werden, unter Einbeziehung einer neurophysiologischen Messmethode (EEG), die in der Lage ist, die Struktur der Stimulusverarbeitung detailliert darzustellen. Das Ziel der Arbeit war es, ein Untersuchungsparadigma zu etablieren, das neben einem NP-Effekt in den Reaktionszeiten auch eine elektrokortikale Komponente identifizieren kann, die den kognitiven Prozess des negativen Primings auf der zentral-nervösen Ebene anzeigt. Da eine EEG-Untersuchung in zeitlicher Hinsicht mit einem erheblichen Aufwand verbunden ist, sowohl in der Durchführung als auch in der Auswertung, lag es nahe zuerst eine Replikation bzw. Überprüfung des Paradigmas in einem Laborexperiment ohne EEG-Ableitung durchzuführen. Zu diesem Zweck wurde ein von Stadler et al. (2001) durchgeführter Versuch für eine EEG-Untersuchung modifiziert. Der Negativ-Priming-Effekt soll in diesem Paradigma auf einer vermuteten automatischen Aktivierung von Additions- und Abzählprozessen beruhen, die durch die Präsentation geeigneter Zahlenpaare ausgelöst wird. Entgegen den Ergebnissen der Originalarbeit ließ sich jedoch kein NP-Effekt nachweisen. Als wahrscheinliche Gründe wurden die mangelnde Verarbeitungstiefe der Aufgabe und die gegenüber der Originalstudie veränderten Zeitparameter der Darbietung identifiziert.

Ein weiterer Versuch, der auf einem von Yee et al. (2000) entwickelten Paradigma zur Verarbeitungstiefe bei der Selektion des Zielreizes in einem NP-Versuch basiert, zeigte den gewünschten NP-Effekt. Die Probanden hatten in diesem Experiment Zahlen hinsichtlich ihrer Teilbarkeit durch die Zahl drei zu beurteilen. Der jeweilige Zielreiz der Aufgabe sollte dabei aus Zahlenpaaren ausgewählt werden, entsprechend der Charakteristik „gerade vs. ungerade“. Als Ergebnis des anschließend durchgeführten EEG-Versuchs konnte eine, mit gedächtnisbasierten kognitiven Prozessen assoziierte P300-Komponente als ein zentral-nervöser Indikator eines NP-Prozesses identifiziert werden. Die Komponente zeigte sich sensitiv für die durch die Aufgabe induzierten inhaltlichen Widersprüche zwischen Prime und Probe. Zur Analyse der EEG-Messstrecken wurde auch ein graphisches Verfahren verwendet, das es ermöglichte, sowohl die Potenzialverläufe der einzelnen Darbietungen innerhalb einer Bedingung, als auch die Verläufe zwischen den Bedingungen, detailliert zu analysieren. Diese ERP-Image Methode erwies sich hier als ein wertvolles Instrument zur Darstellung komplexer kognitiver Vorgänge. Insgesamt unterstützen die Ergebnisse der Arbeit in erster Linie einen gedächtnis- bzw. wiederabrufbasierten Modellansatz des negativen Primings.

7. Literatur

- Allport, D.A., Tipper, S.P., & Chmiel, N.R.J. (1985). Perceptual integration and postcategorical filtering. In: M.I. Posner & O.S.M. Marin (Hrsg.), *Attention and performance XI* (pp. 107-132). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Ashcraft, M.H. (1983). Procedural knowledge versus fact retrieval in mental arithmetic: A reply to Baroody. *Developmental Review*, 3, 231-235.
- Ashcraft, M.H. (1987). Children's knowledge of simple arithmetic: a developmental model and simulation. In: J.C. Bisanz, C.J. Brainerd, & R. Kail (Hrsg.), *Formal methods in developmental psychology: Progress in cognitive development research*, (pp. 302-338). New York: Springer.
- Baddeley, A. (2001). *Human Memory: Theory and practice* (revised edition). Hove, East Sussex: Psychology Press.
- Barrett, S.E., & Rugg, M.D. (1990). Event-related potentials and the semantic matching of pictures. *Brain and Cognition*, 14 (2), 201-212.
- Bogdahn, B., & Kathmann, N. (1998). Negative priming effects on event-related potentials. *Journal of Psychophysiology*, 12, 84.
- Byrne, J.M., Dywan, C.A., & Connolly, J.F. (1995). Assessment of children's receptive vocabulary using event-related brain potentials: Development of a clinically valid test. *Child Neuropsychology*, 1(3), 211-223.
- Castro, A., & Diaz, F. (2001). Effect of the relevance and position of the target stimuli on P300 and reaction time. *International Journal of Psychophysiology*, 41, 43-52.
- Chochon, F., Cohen, L., Moortele, P.F., & Dehaene. S. (1999). Differential Contributions of the left and right inferior parietal lobules to number processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11(6), 617-630.
- Collins, A.M., & Loftus, G.R. (1975). A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychological Review*, 82(6), 407-428.
- Cooper, R., Osselton, J.W., & Shaw, J.C. (1980). *EEG Technology*. London: Butterworths.
- Coull, J.T. (1998). Neural correlates of attention and arousal: Insights from electrophysiology, functional neuroimaging and psychopharmacology. *Progress in*

Neurobiology, 55, 343-361.

Courchesne, E., Hillyard, S.A., & Galambos, R. (1975). Stimulus novelty, task relevance and visual evoked-potential in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 39(2), 131-143.

Dalrymple-Alford, E.C., & Budayr, B. (1966). Examination of some aspects of the Stroop color-word test. *Perceptual and Motor Skills*, 23, 1211-1214.

Damian, M.F. (2000). Semantic negative priming in picture categorization and naming. *Cognition*, 76, 45-55.

Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 44, 1-42.

Dehaene, S., & Cohen, L. (1995). Towards an anatomical and functional model of number processing. *Mathematical Cognition*, 1, 83-120.

Deloche, G., & Willmes, K. (2000). Cognitive neuropsychological models of adult calculation and number processing: The role of the surface format of numbers. *European Child & Adolescent Psychiatry*, 9(6, Supplement 2), 27-40.

Demiralp, T., Ademoglu, A., Istefanopulos, Y., & Gulcur, H.O. (1998). Analysis of event-related potentials (ERP) by damped sinusoids. *Biological Cybernetics*, 78(6), 487-493.

DeSchepper, B., & Treisman, A. (1996). Visual memory for novel shapes: Implicit coding without attention. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 22, 27-47.

Desmedt J.E. (1980). P300 in serial tasks: An essential post-decision closure mechanism. *Prog. Brain. Res.*, 54, 682-686.

Donchin, E. (1981). Surprise!...Surprise? *Psychophysiology*, 32, 579-594.

Donchin, E., & Coles, M.G.H. (1988a). On the conceptual foundations of cognitive psychophysiology. *Behavioral and Brain Sciences*, 11(3), 408-427.

Donchin, E., & Coles, M.G.H. (1988b). Is the P300 component a manifestation of context updating? *Behavioral, & Brain Sciences*, 11, 357-374.

Donchin, E., Ritter, W., & McCallum, W.C. (1978). Cognitive psychophysiology: The

- endogenous components of the ERP. In: E. Callaway, P. Tueting, & S.H. Koslow (Hrsg.), *Brain event-related potentials in man*. New York: Academic Press.
- Driver, J., & Baylis, G.C. (1993). Cross-modal negative priming and interference in selective attention. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 31, 45-48.
- Driver, J., & Tipper, S.P. (1989). On the nonselectivity of "selective" seeing: Contrasts between interference and priming in selective attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, 304-314.
- Eimer, M. (1996). The N2pc-component as an indicator of attentional selectivity. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 99, 225-234.
- Enghoff, S. (1999). Moving ICA and time-frequency analysis in event-related EEG studies of selective attention. Diplomarbeit, Computational Neurobiology Laboratory. La Jolla, CA: SALK Institute.
- Ergenoglu, T., Demiralp, T., Beydagi, H., Karamürsel, S., Devrim, M., & Ermutlu, N. (1998). Slow cortical potential shifts modulates P300 amplitude and topography in humans. *Neuroscience Letters*, 251, 61-64.
- Fabiani, M., Gratton, G., & Coles, M.G.H. (2000). Event-related brain potentials: Methods, theory and applications. In: J. Cacioppo, L. Tassinary, & G. Berntson (Hrsg.), *Handbook of Psychophysiology* (pp. 53-84). New York: Cambridge University Press.
- Federmeier, K.D., & Kutas, M. (2001). Picture the difference: Electrophysiological investigations of picture processing in the two cerebral hemispheres. *Neuropsychologia*, 40, 732-747.
- Fleischer, C., Naumann, E., & Buchner, A. (1998). ERP correlates of negative priming: Preliminary results. *Psychophysiology*, 35 (Suppl.), 61-61.
- Fox, E. (1994). Interference and negative priming from ignored distractors: The role of selection difficulty. *Perception, & Psychophysics*, 56, 565-574.
- Fox, E. (1995). Negative priming from ignored distractors in visual selection: A review. *Psychonomic Bulletin, & Review*, 2, 145-173.
- Fuentes, L.J., & Tudela, P. (1992). Semantic processing of foveally and parafoveally presented words in a lexical decision task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 45, 299-322.

- Ganis, G., Kutas, M., & Sereno, M.I. (1996). The search for "common sense": An electrophysiological study of the comprehension of words and pictures in reading. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8(2), 89-106.
- Garcia-Larrea, L., & Cezanne-Bert, G. (1998). P3, positive slow wave and working memory load: A study on the functional correlates of slow wave activity. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 108, 260-273.
- Gopher, D., & Donchin, E. (1986). Workload and examination of the concept. In: K. Boff & L.Kaufman (Hrsg.), *Handbook of perception and human performance: Sensor processes and perception* (pp. 411-419). New York: John Wiley.
- Gratton, G., Bosco, C.M., Kramer, A.F., Coles, M.G.H., Wickens, C.D., & Donchin, E. (1990). Event-related brain potentials as indices of information extraction and response priming. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 75, 419-432.
- Greenwald, A.G. (1972). On doing two things at once: Timesharing as a function of ideomotor compatibility. *Journal of Experimental Psychology*, 94(1), 52-57.
- Groen, G.J., & Parkman, J.M. (1972). Chronometric analysis of simple addition. *Psychological Review*, 79(4), 329-333.
- Haider, M., Sprong, P., & Lindsley, D.B. (1964). Attention, vigilance, and cortical evoked potentials. *Science*, 145, 180-182.
- Hamm, J.P., Johnson, B.W., & Kirk, I.J. (2002). Comparison of the N300 and N400 ERPs to picture stimuli in congruent and incongruent contexts. *Clinical Neurophysiology*, 113, 1339-1350.
- Henik, A., Freidrich, F.J., & Kellogg, W.A. (1983). The dependence of semantic relatedness effects upon prime processing. *Memory, & Cognition*, 11(4), 366-373.
- Hillyard, S.A., & Anillo-Vento, L. (1998). Event-related brain potentials in the study of visual selective attention. *Proc. Nat. Acad. Sci., USA*, 95, 781-787.
- Holm, S. (1979). A simple sequentially rejective multiple test procedure. *Scand. J. Statist.*, 6, 65-70.
- Houghton, G., & Tipper, S.P. (1994). A model of inhibitory mechanism in selective attention. In: D. Dagenbach, & T. Carr (Hrsg.), *Inhibitory mechanisms of attention, memory and language*, (pp. 53-112). San Diego: Academic Press.

- Houghton, G., Tipper, S.P., Weaver, B., & Shore, D.I. (1996). Inhibition and interference in selective attention: Some tests of a neural network model. *Visual Cognition*, 3(2), 119-164.
- Jasper, H.H. (1958). The ten-twenty electrode system of the international federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10, 371-375.
- Johnson, R., & Donchin, E. (1985). 2nd thoughts – Multiple P300s elicited by a single stimulus. *Psychophysiology*, 22(2), 182-194.
- Jung, T.P., Makeig, S., Westerfield, M., Townsend, J., Courchesne, E., & Sejnowski, T.J. (2001). Analysis and visualization of single-trial event-related potentials. *Human Brain Mapping*, 14, 166-185.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Kane, M.J., May, C.P., Hasher, L., Rahhal, T., & Stoltzfus, E.R. (1997). Dual mechanisms of negative priming. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23, 632-650.
- Katayama, J., & Polich, J. (1996). P300 from one-, two-, and three-stimulus auditory paradigms. *International Journal of Psychophysiology*, 23(1-2), 33-40.
- Kathmann, N., Bogdahn, B., Nolde, T., & Engel, R.R. (1999). Negative priming effects on event-related potentials in a two-dimensional visual discrimination task. *International Journal of Psychophysiology*, 33, 76.
- Kolev, V., Demiralp, T., Yordanova, J., Ademoglu, A., & Isogluakac, U. (1997). Time-frequency analysis reveals multiple functional components during oddball P300. *Neuroreport*, 8(8), 2061-2065.
- Kramer, A.F. (1987). Event-related brain potentials. In: Gale, A., & Christie, B. (Hrsg.), *Psychophysiology and the electronic workplace*, (pp. 197-222). Oxford, England: John Wiley, & Sons.
- Kramer, A.F., Strayer, D.L., & Buckley, J. (1991). Task versus component consistency in the development of automatic processing: A psychophysiological assessment. *Psychophysiology*, 28(4), 425-437.
- Kutas, M., & Hillyard, S.A. (1980). Reading senseless sentences: Brain potentials reflect

semantic incongruity, *Science*, 207, 203-205.

Kutas, M., & Dale, A. (1997). Electrical and magnetic readings of mental functions. In: Rugg, M.D. (Hrsg.), *Cognitive neuroscience. Studies in cognition* (pp. 197-242). Cambridge, MA: The MIT Press.

LeFevre, J.A., & Bisanz, J. (1986). A cognitive analysis of number-series problems: Sources of individual differences in performance. *Memory, & Cognition*, 14, 287-298.

LeFevre, J.A., Bisanz, J., & Mrkonjic, L. (1988). Cognitive arithmetic: Evidence for obligatory activation of arithmetic facts. *Memory, & Cognition*, 16, 45-53.

LeFevre, J.A., & Kulak, A.G. (1994). Individual differences in the obligatory activation of addition facts. *Memory, & Cognition*, 22(2), 188-200.

LeFevre, J.A., Bisanz, J., Daley, K.E., Buffone, L., Greenbaum, S.L., & Sadesky, G.S. (1996). Multiple routes to solution of single-digit multiplication problems. *Journal of Experimental Psychology: General*, 125, 284-306.

Large & Thorndike Intelligence Test, 1957

Lowe, D.G. (1985). Further investigations of inhibitory mechanisms in attention. *Memory, & Cognition*, 13(1), 74-80.

Luck, S.J., Hillyard, S.A., Mouloua, M., Woldorff, M.G., Clark, V.P., & Hawkins, H.L. (1994). Effects of spatial cueing on luminance detectability – Psychophysical and electrophysiological evidence for early selection. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20(4), 887-904.

Luck S.J., & Hillyard, S.A. (1995). The role of attention in feature detection and conjunction discrimination – An electrophysiological analysis. *International Journal of Neuroscience*, 80(1-4), 281-297.

Lupiáñez, J., Rueda, M.R., Ruz, M., & Tudela, P. (2000). Processing of attended and ignored words in the parafovea: Inhibitory aspects of semantic processing. *Psicológica*, 21, 233-256.

MacDonald, P.A., Joordens, S., & Seergobin, K.N. (1999). Negative priming effects that are bigger than a breadbox: Attention to distractors does not eliminate negative priming, it enhances it. *Memory, & Cognition*, 27, 197-207.

- Macrae, C.N., Bodenhausen, G.V., & Milne, A.B. (1995). The dissection of selection in person perception: Inhibitory processes in social stereotyping. *Journal of Personality, & Social Psychology*, 69, 397-407.
- Makeig, S., Westerfield, M., Jung, T.P., Covington, J., Townsend, J., Sejnowski, T.J., & Courchesne, E. (1999). Functionally independent components of the late positive event-related potential during visual spatial attention. *The Journal of Neuroscience*, 19, 2665-2680.
- Mangun, G.R., & Hillyard, S.A. (1991). Modulations of sensory-evoked brain potentials indicate changes in perceptual processing during visual spatial priming. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17(4), 1057-1074.
- McCallum, W.C., Cooper, R., Pocock, P.V., & Newton, P. (1987). Slow potential shifts and ERPs as indicators of work load during a visual tracking task. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 66(1), 5.
- Menon, V., Mackenzie, K., Rivera, S.M., & Reis, A.L. (2002). Prefrontal cortex involvement in processing incorrect arithmetic equations: Evidence from event-related fMRI. *Human Brain Mapping*, 16, 119-130.
- Mesulam, M.M. (1990). Large-scale neurocognitive networks and disturbed-processing for attention, language and memory. *Annals of Neurology*, 28(5), 597-613.
- Miller, K., Perlmutter, M., & Keating, D. (1984). Cognitive arithmetic: Comparison of operations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 10, 46-60.
- Milliken, B., & Joordens, S. (1996). Negative priming without overt prime selection. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 60, 333-346.
- Milliken, B., Joordens, S., Merikle, P. M., & Seiffert, A. E. (1998). Selective attention: A reevaluation of the implications of negative priming. *Psychological Review*, 105, 203-229.
- Neill, W.T. (1977). Inhibitory and facilitatory processes in selective attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 3(3), 444-450.
- Neill, W.T. (1979). Switching attention within and between categories – Evidence for intra-category inhibition. *Memory, & Cognition*. 7(4), 283-290.

- Neill, W.T., & Kahan, T.A. (1999). Response conflict reverses priming: A replication. *Psychonomic Bulletin, & Review*, 6(2), 304-308.
- Neill, W.T., & Mathis, K.M. (1998). Transfer-inappropriate processing: Negative priming and related phenomena. In: D. Medin (Hrsg.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (pp. 1-44). San Diego, CA: Academic Press.
- Neill, W.T., & Valdes, L.A. (1992). Persistence of negative priming: Steady state or decay? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 18, 565-576.
- Neill, W.T., & Westberry, R.L. (1987). Selective attention and the suppression of cognitive noise. *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory and Cognition* , 13, 327-334.
- Niedeggen, M., Rösler, F., & Jost, K. (1999). Processing of incongruous mental calculation problems: Evidence for an arithmetic N400 effect. *Psychophysiology*, 36, 307-324.
- Nobre, A.C., Sebestyen, G.N., Gitelman, D.R., Mesulam, M.M., Frackowiak, R.S., & Frith, C. D. (1997). Functional localization of the system for visuospatial attention using positron emission tomography. *Brain*, 120, 515-533.
- Park, J., & Kanwisher, N. (1994). Negative priming for spatial locations: Identity mismatching, not distractor inhibition. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 613-623.
- Parkin, A.J. (2000). *Essential Cognitive Psychology*. Hove, East Sussex: Psychology Press Ltd.
- Pashler, H. (1994). Dual-task interferences in simple tasks: Data and theory. *Psychological Bulletin*, 116, 220-244.
- Pesenti, M., Thioux, M., Seron, X., & De Volder, A. (2000). Neuroanatomical substrates of arabic number processing, numerical comparison, and simple addition: A PET study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 461-479.
- Pesta, B. J., & Sanders, R. E. (2000). Aging and negative priming: Is ignored information inhibited or remembered? *Experimental Aging Research*, 26, 37-56.
- Picton, T.W., Bentin, S., Berg, P., Donchin, E., Hillyard, S.A., Johnson, R., et al. (2000). Guidelines for using human event-related potentials to study cognition: recording

- standards and publication criteria. *Psychophysiology*, 37, 127-152.
- Reynvoet, B., & Brysbaert, M. (1999). Single-digit and two-digit arabic numerals address the same semantic number line. *Cognition*, 72, 191-201.
- Rösler, F. (1983). Endogenous ERPs and cognition: Probes, prospects, and pitfalls in matching pieces of the mind-body puzzle. In: A. W. K. Gaillard, & W. Ritter (Hrsg.), *Tutorials in ERP-Research: Endogenous Components* (pp. 9-36). Amsterdam: North-Holland Publishing Company.
- Ruchkin, D.S., Johnson, R., Canoune, H.L., Ritter, W., & Hammer, M. (1990). Multiple sources of P3b associated with different types of information. *Psychophysiology*, 27 (2), 157-176.
- Ruchkin, D.S., & Sutton, S. (1978). Emitted P300 potentials and temporal uncertainty. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 45(2), 268-277.
- Siegler, R.S., & Shrager, J. (1984). Strategy choices in addition and subtraction: How do children know what to do. In: C. Sophian (Hrsg.), *Origins of cognitive skills* (pp. 229-293). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Spencer, K.M., Dien, J., & Donchin, E. (1999). A componential analysis of the ERP elicited by novel events using a dense electrode array. *Psychophysiology*, 36, 409-414.
- Squires, N.K., Donchin, E., Squires, K.C., & Grossberg, S. (1977). Bisensory Stimulation – Inferring decision-related processes from P300 component. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 3(2): 299-315.
- Squires, N.K., Squires, K.C., & Hillyard, S.A. (1975). Two varieties of long-latency positive waves evoked by unpredictable auditory stimuli in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 38, 387-401.
- Stadler, M.A., Geary, D.C., & Hogan, M.E. (2001). Negative priming from activation of counting and addition knowledge. *Psychological Research*, 65, 24-27.
- Steel, C., Haworth, E. J., Peters, E., Hemsley, D. R., Sharma, T., Gray, et al. (2001). Neuroimaging correlates of negative priming. *Neuroreport*, 12, 1-6.
- Strayer, D.L. & Grison, S (Unter Begutachtung). On the locus of negative identity priming.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of*

- Experimental Psychology*, 18, 643-662.
- Sutton, S., Braren, M., Zubin, J., & John, E.R. (1965). Evoked potential correlates of stimulus uncertainty. *Science*, 150, 1187-1188.
- Tipper, S.P. (1985). The negative priming effect: Inhibitory priming by ignored objects. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 37A, 571-590.
- Tipper, S.P., Brehaut, J.C., & Driver, J. (1990). Selection of moving and static objects for the control of spatially directed action. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16(3), 492-504.
- Tipper, S.P., & Cranston, M. (1985). Selective attention and priming: Inhibitory and facilitatory effects of ignored primes. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 37A, 591-611.
- Tipper, S.P., & Driver, J. (1988). Negative priming between pictures and words: Evidence for semantic analysis of ignored stimuli. *Memory, & Cognition*, 16, 64-70.
- Tipper, S.P., MacQueen, G.M., & Brehaut, J.C. (1988). Negative priming between response modalities: Evidence for the central locus of inhibition in selective attention. *Perception & Psychophysics*, 43, 45-52.
- Tipper, S.P., Weaver, B., & Houghton, G. (1994). Behavioral goals determine inhibitory mechanisms of selective attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 47, 809-840.
- Tueting, P., Sutton, S., & Zubin, J. (1971). Quantitative evoked potential correlates of the probability of events. *Psychophysiology*, 7, 385-394.
- Verleger, R. (1988). Event-related potentials and cognition: A critique of the context updating hypothesis and an alternative interpretation of P3. *Behavior and Brain Science*, 11, 343-356.
- Vogel, E.K., & Luck, S.J. (2000). The visual N1 component as an index of a discrimination process. *Psychophysiology*, 37, 190-203.
- Wagner, M. (1997). *Negatives Priming und selektive Aufmerksamkeit*. Habilitationsschrift, Sozialwissenschaftliche Fakultät Konstanz.
- Wagner, M., Cohen, R., & Rockstroh, B. (1995). Negative Priming of spatial location: An

- ERP analysis. *Psychophysiology*, 32 (Suppl. 1), 82.
- Wagner, M., & Hoenig, K. (1999). Spatial negative priming impairs stimulus selection. *International Journal of Psychophysiology*, 33, 77.
- Wentura, D. (1999). Activation and inhibition of affective information: Evidence for negative priming in the evaluation task. *Cognition, & Emotion*, 13, 65-91.
- W. James, (1890). *The Principles of Psychology*. New York: Dover.
- Winterer, G., Ziller, M., Dorn, H., Frick, K., Mulert, C., Dahhan, N., & et al. (1999). Cortical activation, signal-to-noise ratio and stochastic resonance during information processing in man. *Clinical Neurophysiology*, 110 (7), 1193-1203.
- Wood, T.J., & Milliken, B. (1998). Negative priming without ignoring. *Psychonomic Bulletin, & Review*, 5, 470-475.
- Woodman, G.F., & Luck, S.J. (1999). Electrophysiological measurement of rapid shifts of attention during visual search. *Nature*, 400, 867-869.
- Yee, P. L. (1991). Semantic inhibition of ignored words during a figure classification task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 43A, 127-153.
- Yee, P.L., Santoro, K.E., Grey, A.L., & Woog, V. (2000). Deeper processing at target selection increases the magnitude of negative priming. *Memory, & Cognition*, 28, 1429-1436.
- Zbrodoff, N.J., & Logan, G.D. (1986). On the autonomy of mental processes – A case study of arithmetic. *Journal of Experimental Psychology: General*, 115(2), 118-130.

8. Anhangsverzeichnis

A1: ERP-Image für Pz-Elektrode (Attend / Attend-Kontrolle)

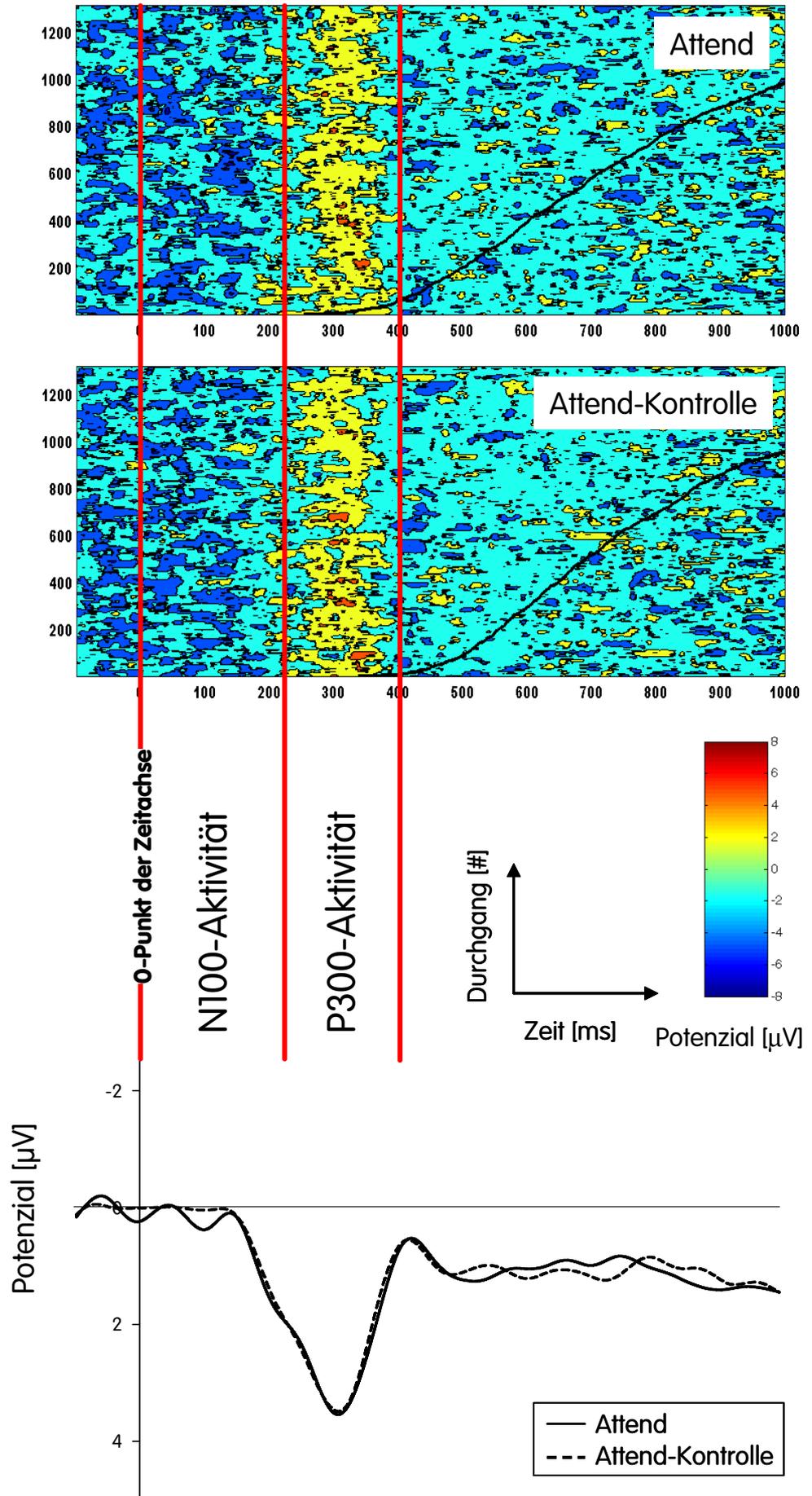
A2: ERP-Image für Pz-Elektrode (Ignore / Ignore-Kontrolle)

A3: ERP-Image für P4-Elektrode (Attend / Attend-Kontrolle)

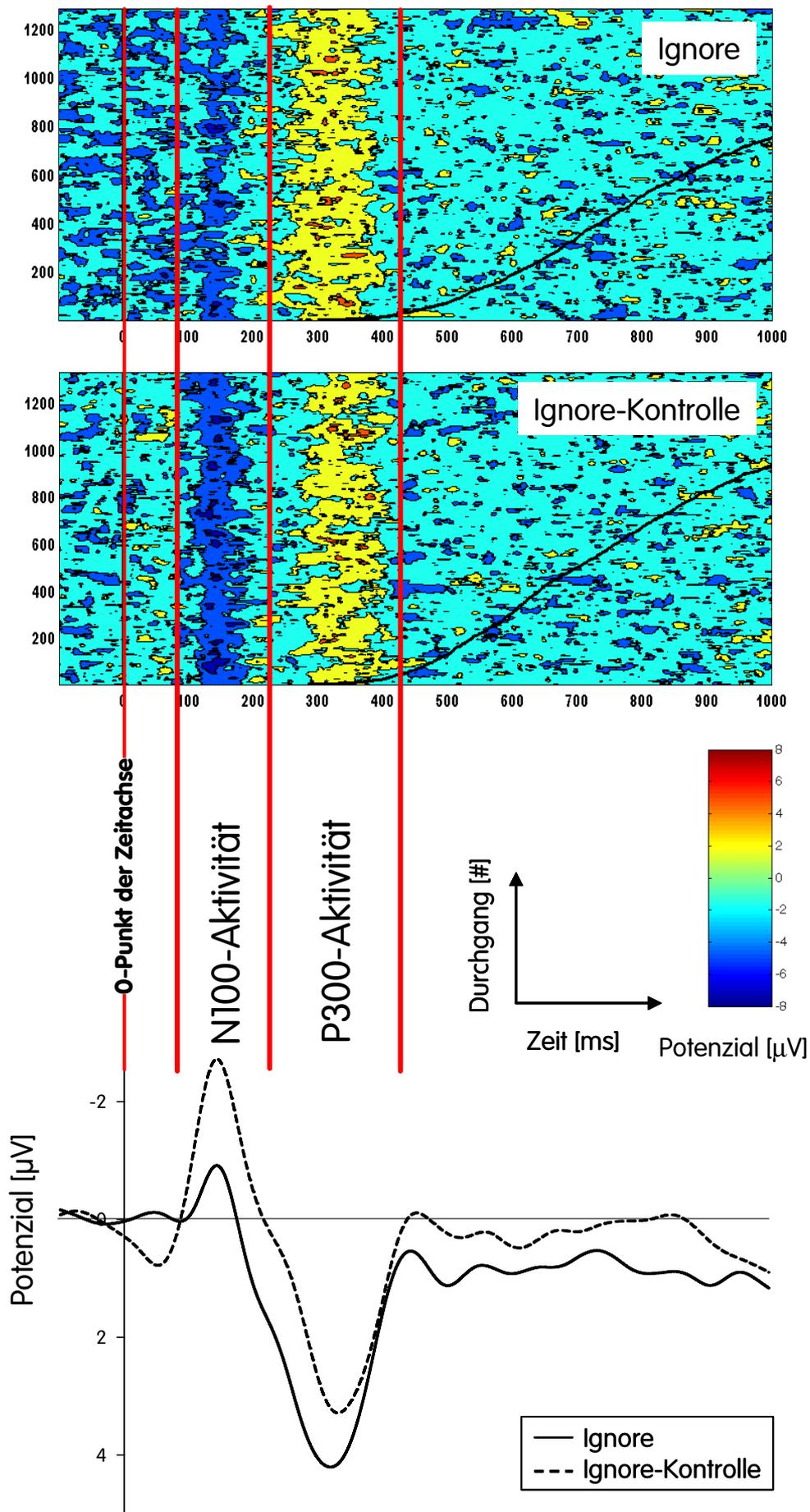
A4: ERP-Image für P4-Elektrode (Ignore / Ignore-Kontrolle)

A5: ERP-Image für FCz-Elektrode (Attend / Attend-Kontrolle)

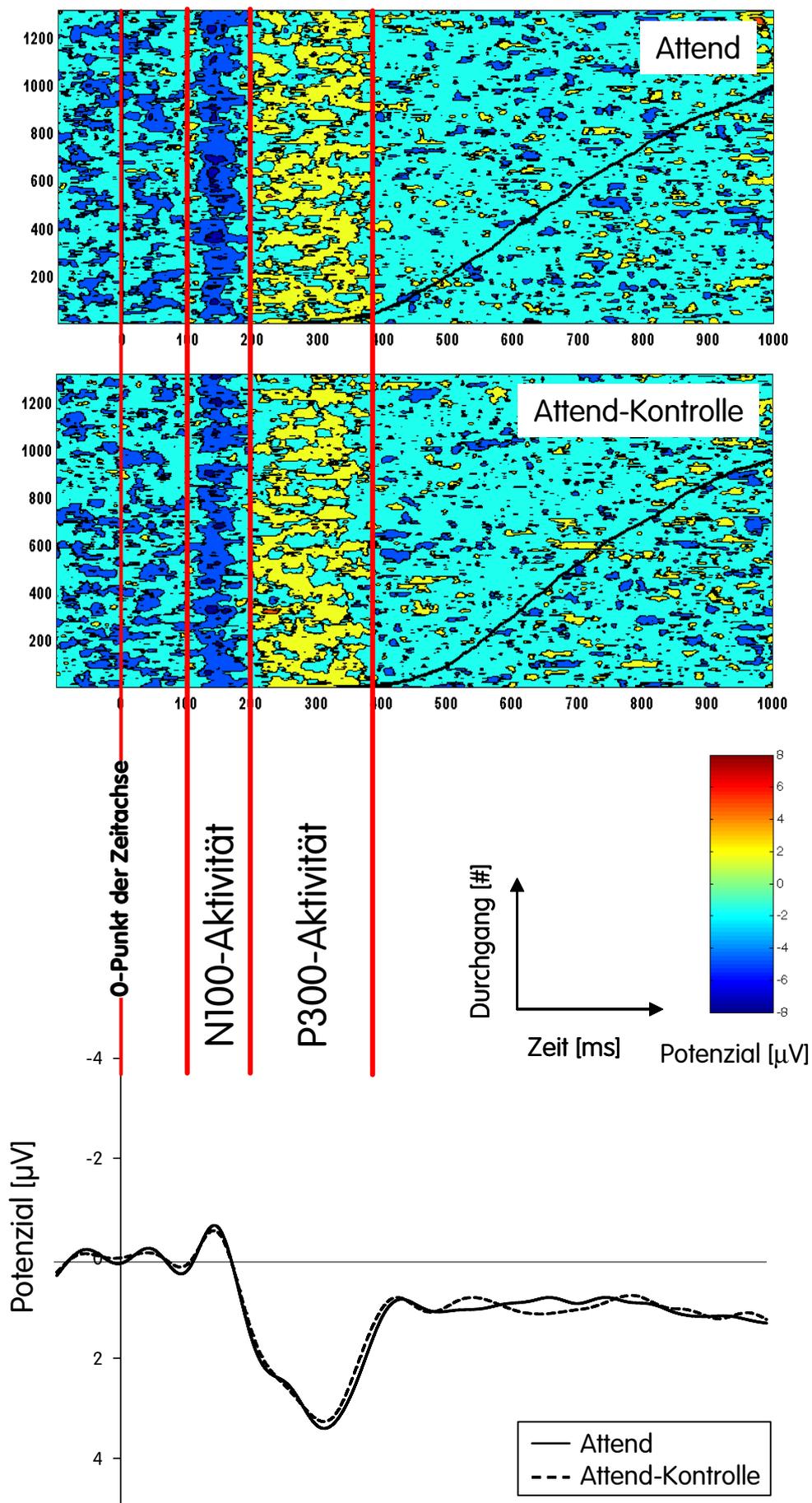
A6: ERP-Image für FCz-Elektrode (Ignore / Ignore-Kontrolle)



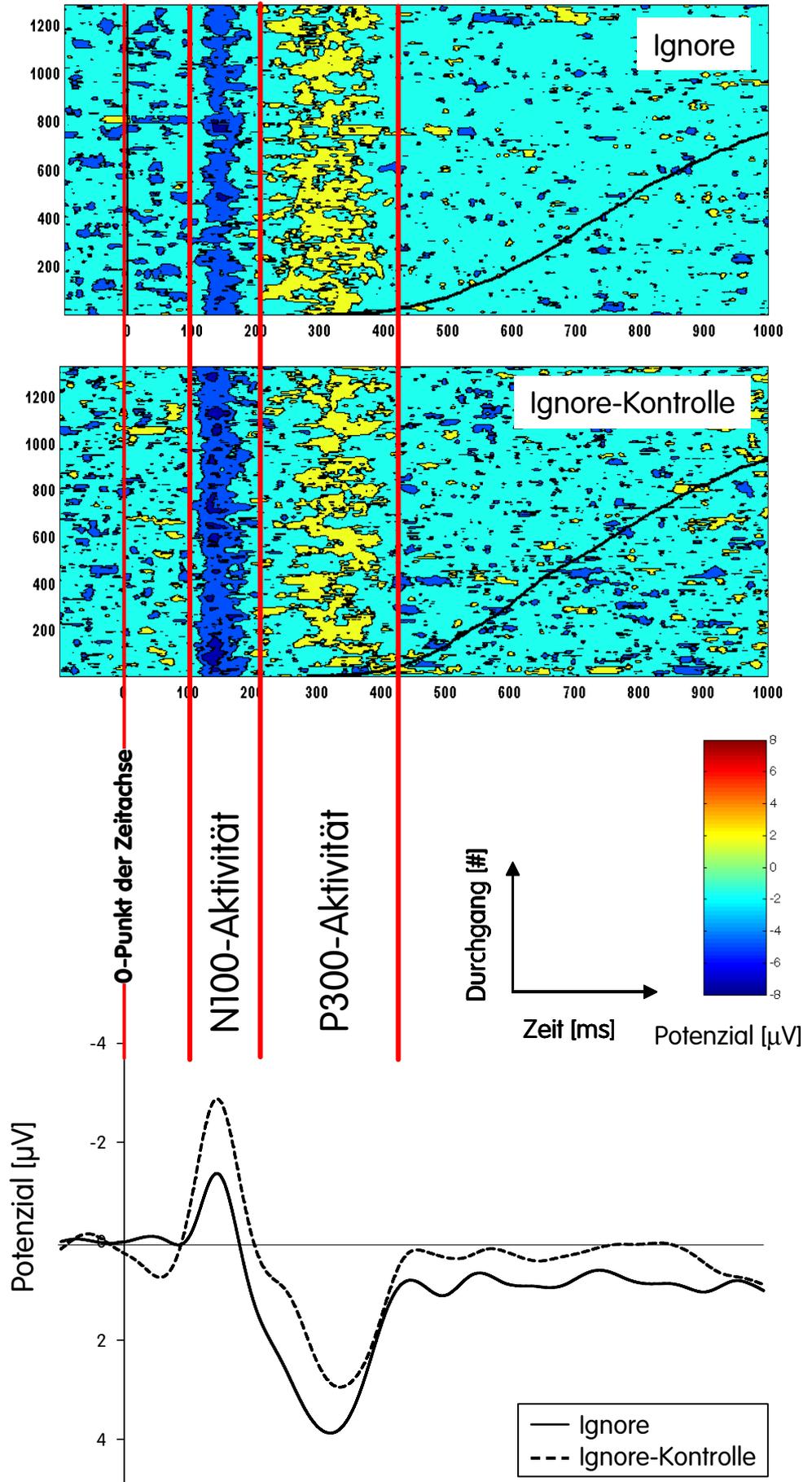
A1: ERP-Image für Pz-Elektrode
Attend / Attend-Kontrolle



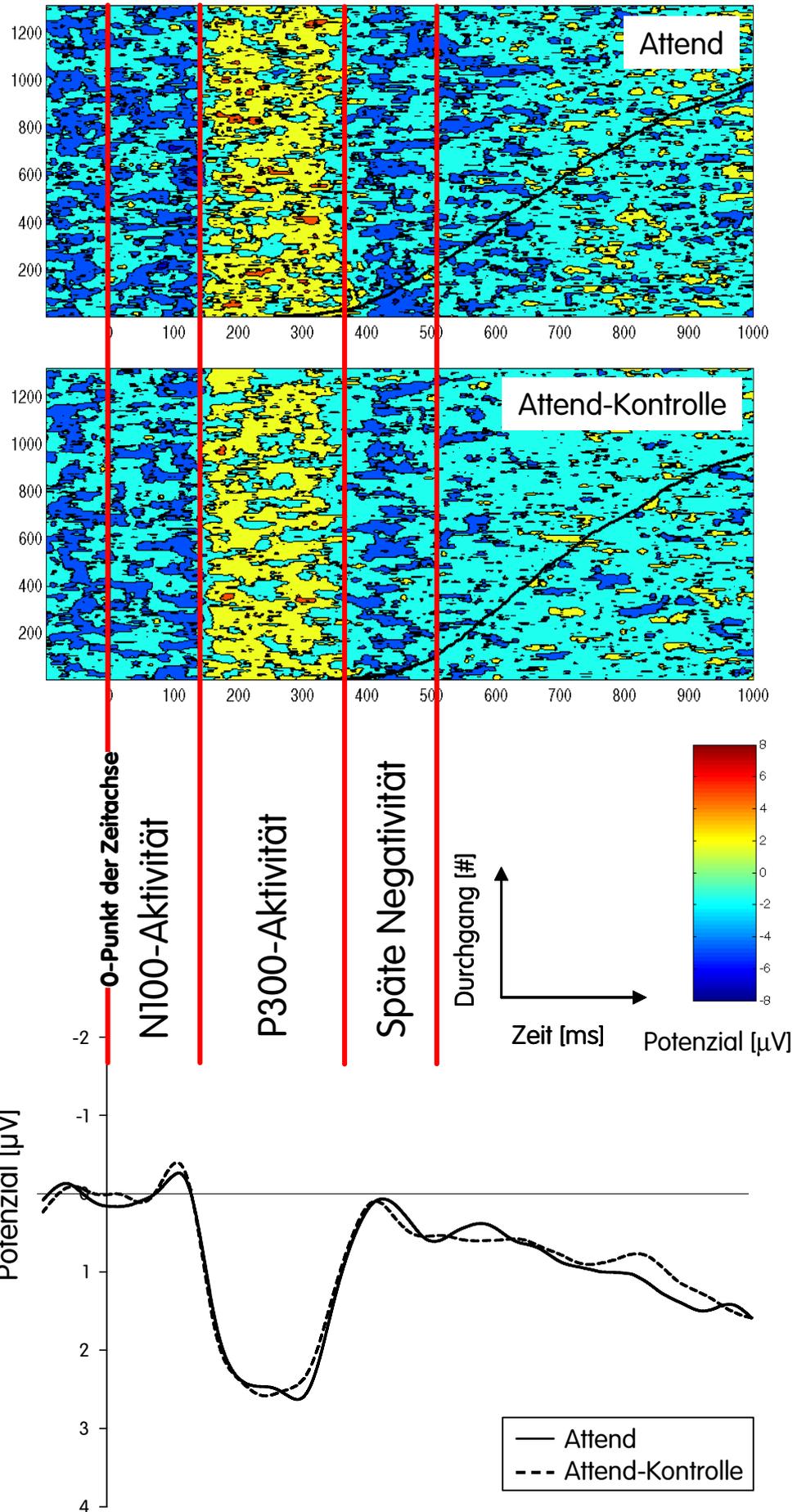
A2: ERP-Image für Pz-Elektrode
Ignore / Ignore-Kontrolle



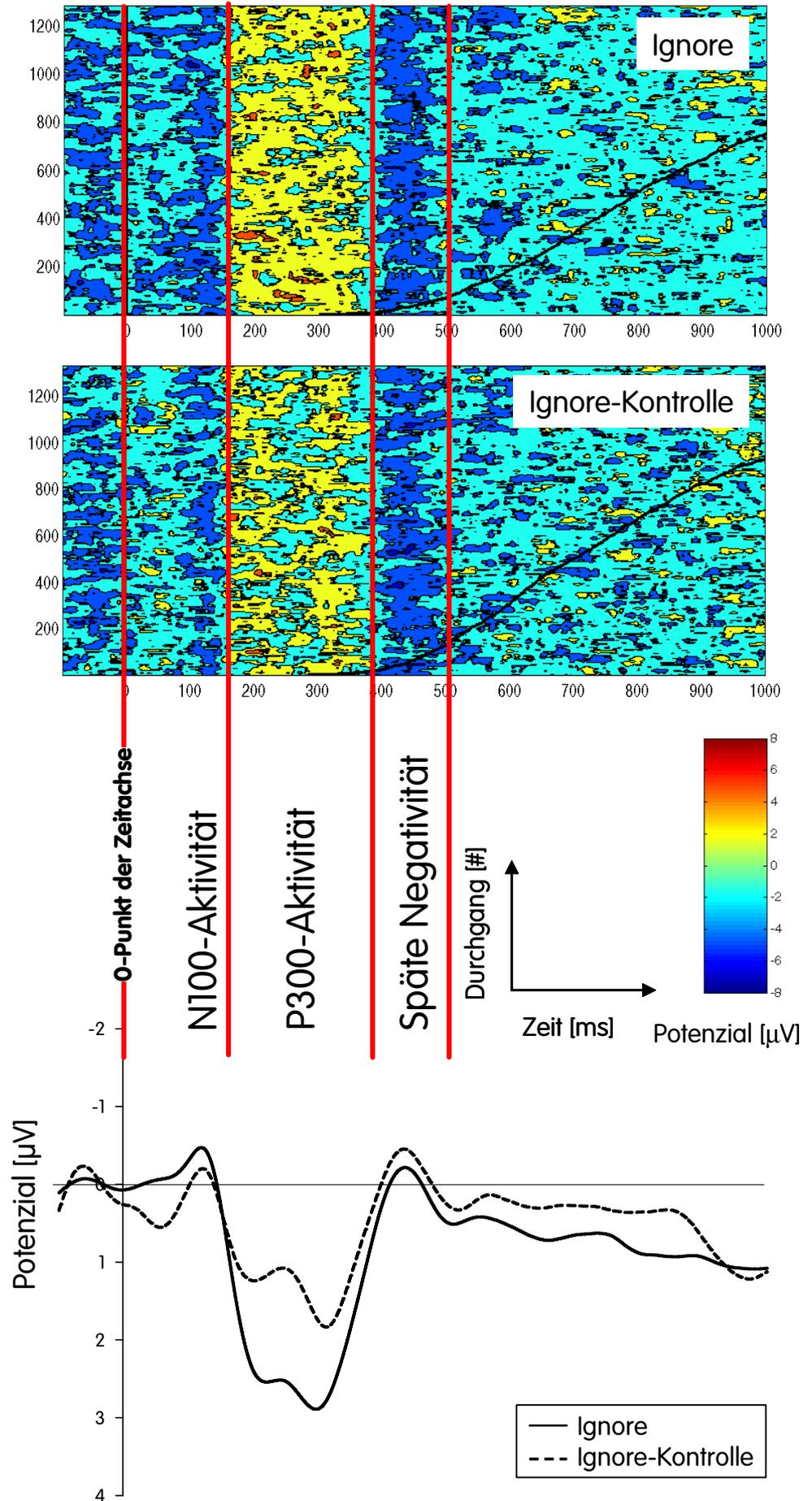
A3: ERP-Image für P4-Elektrode
Attend / Attend-Kontrolle



A4: ERP-Image für P4-Elektrode
Ignore / Ignore-Kontrolle



A5: ERP-Image für FCz-Elektrode
Attend / Attend-Kontrolle



A6: ERP-Image für FCz-Elektrode
Ignore / Ignore-Kontrolle