



## Multitasking und Auswirkungen auf die Fehlerverarbeitung

X. Weißbecker-Klaus

**Forschung  
Projekt F 2247**

X. Weißbecker-Klaus

**Multitasking und Auswirkungen  
auf die Fehlerverarbeitung**

**Psychophysiologische Untersuchung zur Analyse  
von Informationsverarbeitungsprozessen**

Dortmund/Berlin/Dresden 2014

Diese Veröffentlichung basiert auf einer Diplomarbeit im Rahmen des Projekts „Multi-tasking und Arbeitsunterbrechung – neurophysiologische Ansätze zur Untersuchung kognitiver Leistungsvoraussetzungen“ – Projekt F 2247 – der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.

Autorin: Xenia Weißbecker-Klaus  
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Fachliche Beratung: Dr. rer. nat. Gabriele Freude  
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Titelfoto: Uwe Völkner, Fotoagentur FOX, Lindlar/Köln

Umschlaggestaltung: Stefanie Schröder  
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Herstellung: Bonifatius GmbH, Paderborn

Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin  
Friedrich-Henkel-Weg 1 – 25, 44149 Dortmund  
Telefon 0231 9071-0  
Fax 0231 9071-2454  
poststelle@baua.bund.de  
www.baua.de

Berlin:  
Nöldnerstr. 40 – 42, 10317 Berlin  
Telefon 030 51548-0  
Fax 030 51548-4170

Dresden:  
Fabricestr. 8, 01099 Dresden  
Telefon 0351 5639-50  
Fax 0351 5639-5210

Alle Rechte einschließlich der fotomechanischen Wiedergabe und des auszugsweisen Nachdrucks vorbehalten.



[www.baua.de/dok/4731862](http://www.baua.de/dok/4731862)

ISBN 978-3-88261-006-2

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
Kurzreferat	5
Abstract	6
<b>1 Einleitung</b>	<b>7</b>
1.1 Theoretische Erklärungsansätze zur Leistung und Interferenz in Mehrfachaufgaben	8
1.1.1 Flaschenhalstheorien	8
1.1.2 Modelle zentraler Kapazität	9
1.1.3 Theorien multipler Ressourcen	10
1.2 Modulierende Faktoren der Doppelaufgabenleistung	11
1.3 Doppelaufgabenleistung im Altersvergleich	15
1.4 Methodische Grundlagen der Elektroenzephalographie	17
1.4.1 Hirnelektrische Aktivität	17
1.4.2 Signalerfassung	17
1.4.3 Ereigniskorrelierte Potentiale	18
1.5 Sprachverarbeitung und Fehlermonitoring	18
1.5.1 N400-Komponente	18
1.5.2 Error-related negativity (ERN) und Error positivity (Pe)	20
1.5.3 Post-error slowing (PES)	21
1.6 Designentwicklung und Hypothesen	22
<b>2 Methoden</b>	<b>26</b>
2.1 Stichprobe	26
2.2 Materialien und Apparatur	26
2.2.1 Psychophysiologische Registrierung	26
2.2.2 Visuell-motorische Aufgabe	27
2.2.3 Auditiv-verbale Aufgabe	28
2.2.4 Übungsblock	29
2.2.5 Multitaskinggesamtanforderung	29
2.3 Versuchsdurchführung	31
2.4 Datenauswertung	32

<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>33</b>
3.1	Verhaltensdaten	34
3.1.1	Fehlerraten	34
3.1.2	Reaktionszeiten	34
3.1.3	Post-error slowing (PES)	37
3.2	Elektrophysiologische Variablen	39
3.2.1	N400-Komponente	39
3.2.2	Error-related negativity (ERN)	44
3.2.3	Error positivity (Pe)	46
<b>4</b>	<b>Diskussion und praktische Implikationen</b>	<b>49</b>
	Literaturverzeichnis	53
	Anhang	63

# Multitasking und Auswirkungen auf die Fehlerverarbeitung

## Kurzreferat

Multitaskinganforderungen sind ein wesentliches Merkmal der modernen Arbeitswelt. In einem experimentellen Doppelaufgabendesign wurde untersucht, ob im Gehirn eine simultane Verarbeitung von zwei aufmerksamkeitsintensiven Prozessen möglich ist. Gesunde Probanden bearbeiteten zeitgleich eine Computeraufgabe (visuell-motorische Flankeraufgabe) und eine auditiv-verbale Entscheidungsaufgabe. Mit der psychophysiologischen Methode der Elektroenzephalographie (EEG) wurden Parameter hirnelektrischer Aktivität ausgewertet.

Zwei wesentliche Forschungsfragen waren von Interesse:

1. Sind multitaskingbedingte Reaktionsveränderungen durch Indikatoren der bioelektrischen Hirnaktivität zu objektivieren?
2. Kann während der PC-Arbeit eine effiziente Fehlerdetektion und -verarbeitung gewährleistet werden, wenn zugleich Inhalte gesprochener Sprache zu verarbeiten sind?

Zur Bestimmung altersabhängiger Effekte wurden zwei Altersgruppen erwerbsfähiger Population untersucht (20- bis 35-Jährige und 50- bis 60-Jährige).

Neben Verhaltensdaten (Reaktionszeiten, Fehlerraten und fehlerbedingter Reaktionsverzögerung, sog. „Post-error slowing“) wurden Komponenten Ereigniskorrelierter Potentiale (EKP) ausgewertet, die die semantische Analyse und die Fehlerverarbeitung auf der Gehirnebene widerspiegeln (Ne/ERN, Pe, N400).

In der Flankeraufgabe nahmen die Fehlerraten zu und die Reaktionszeiten verkürzten sich, wenn zusätzlich sprachliche Inhalte verarbeitet werden sollten. Fehlerhafte Reaktionen gingen nicht nur mit verspäteten Antworten in der semantischen Entscheidungsaufgabe einher, sondern verzögerten die N400 Peak-Latenz um mehr als 400 ms. Das Post-error slowing war nur in der Einzelaufgabenbedingung zu verzeichnen und fehlte in der Multitaskingbedingung. Die Ne/ERN und Pe-Amplituden zeigen gegenläufige Effekte beim Multitasking: Während die Ne/ERN-Amplituden zunahmten, sanken die Pe-Amplituden.

Insgesamt zeigten sich deutliche Interferenzen bei paralleler Aufgabebearbeitung. Diese beeinträchtigen nicht nur die Aufgabenausführung, sondern veränderten auch Prozesse der Fehlerverarbeitung.

## Schlagwörter:

Multitasking, kontrollierte Verarbeitung, ereigniskorrelierte Potentiale, Fehlerverarbeitung, Alter

# Effects of multitasking on error

## Abstract

Multitasking requirements are a key feature of modern computer-aided workplaces. We examined whether two attention-intensive tasks can be processed at the same time in the brain. Healthy participants performed a computer-based task (visual-manual flanker task) and an auditory-verbal semantic decision task simultaneously. The brain activity was assessed by parameters of the electroencephalogram (EEG). Two key research questions were of particular interest:

1. Can multitasking-related behavioural changes in reaction time be proved on the neuronal level through indicators of bioelectrical brain activity?
2. Does simultaneously processed spoken information affect the error detection and evaluation?

To investigate age effects two age groups of employable population (20 to 35 and 50 to 60 years old, respectively) were studied. Behavioural data (reaction time, error rates and post-error slowing) and components of event-related potentials (ERPs) reflecting semantic analysis and error processing (Ne/ERN, Pe, N400) were examined. Error rates increased and reaction times shortened in the flanker task, when semantic information had to be simultaneously processed. Errors in the flanker task were accompanied by prolonged responses in the semantic decision task and delayed the N400 peak latency for more than 400 ms. The post-error slowing in the flanker task was observed in the single task condition, but not in the dual task condition. The Ne/ERN and Pe amplitudes showed opposite changes in the dual task condition: while Ne/ERN amplitudes increased, Pe amplitudes decreased. The results confirm the interference between the tasks on the neuronal level. These mutual interferences impair not only the single task performance, but cause also changes in error processing.

## Key words:

multitasking, controlled processing, event-related potentials, error processing, aging

# 1 Einleitung

Multitasking, als ein wesentliches Merkmal der modernen, beschleunigten Arbeitswelt wird nach wie vor mit hohem Leistungspotenzial und besonderer Eignung für moderne Berufe assoziiert (Freude & Ullsperger, 2010). Der Begriff „Multitasking“, eine aus dem lateinischen „multi“ [viele] und dem englischen „task“ [Aufgabe] zusammengesetzte Bezeichnung stammt ursprünglich aus der Informatik und beschreibt die Eigenschaft eines Rechnerbetriebssystems zum Mehrprozessbetrieb. Auf den Menschen übertragen wird unter Multitasking ein Arbeitsstil der simultanen Ausführung mehrerer Aufgaben zur selben Zeit verstanden (Lee & Taatgen, 2002).

Von der auch als „the productivity skill of the new millennium“ (UNB Writing Centre, 2010) bezeichneten Fähigkeit eines Arbeitnehmers mehrere Anforderungen gleichzeitig zu bearbeiten, verspricht man sich eine schnellere und effizientere Arbeitsweise und viele Produktivitätsvorteile. Zunehmende Verdichtung der Arbeitsprozesse und Entwicklungen der modernen Informations- und Kommunikationstechnik begünstigen die parallele Nutzung mehrerer Anwendungen, sodass Multitasking und häufige Arbeitsunterbrechungen an vielen Arbeitsplätzen bereits zum Normalfall geworden sind (Freude & Ullsperger, 2010). Laut einer deutschen Repräsentativerhebung sind insbesondere Verwaltungs- und Büroarbeiter betroffen, von denen etwa zwei Drittel von zeitgleich zu erledigenden Arbeitsaufträgen und häufigen Arbeitsunterbrechungen berichten (BIBB-BAuA Erwerbstätigenbefragung 2006).

Laborexperimentelle Untersuchungen liefern jedoch ernüchternde Ergebnisse. Je höher die kognitive Beanspruchung der gleichzeitig auszuführenden Tätigkeiten, umso mehr Zeit- sowie Ressourcenverluste, Qualitätseinbußen und physiologische wie psychische Fehlbeanspruchungen werden beobachtet (z. B. Paridon, 2010). Ophir (2009) verglich die Leistungen in kognitiven Aufgaben zwischen Personen, die ihren eigenen Angaben zufolge sehr oft bzw. sehr selten verschiedene Medien (wie z. B. Telefon, PC, Printmedien) gleichzeitig nutzen. Die Auswertung ergab einen Unterschied in der Art der Informationsverarbeitung und Aufmerksamkeitskontrolle zwischen den beiden Personengruppen. Paradoxerweise hatten häufige „Multitasker“, obgleich sie von der Effektivität ihrer Leistung überzeugt waren, größere Schwierigkeiten aufgabenirrelevante Informationen auszublenden und zwischen den Aufgaben hin und her zu wechseln. Biscuim (2009) erklärt diesen Befund durch die Tendenz zur Registrierung möglichst vieler Quellen, ohne jedoch diese erschöpfend zu bearbeiten. Das menschliche Gehirn scheint nicht in der Lage zu sein, „auf mehrere Dinge gleichzeitig mit gleicher Aufmerksamkeit zu reagieren“ (Freude & Ullsperger, 2010).

Gerade vor dem Hintergrund des demografischen Wandels, der Prognosen zufolge den Anteil der 55- bis 64-Jährigen zwischen den Jahren 2007 und 2020 um 40 % anwachsen lässt und die Altersstruktur in Unternehmen verändert (nach Baethge & Rigotti, 2010), bleibt ebenfalls zu klären, inwieweit Multitasking der durchschnittlichen altersbedingten Abnahme kognitiver Funktionen gerecht werden kann. Es ergeben sich unweigerlich mehrere Fragen: Wie erstrebenswert ist dieser neue Arbeitsstil? Ist das Gehirn in der Lage mehrere Informationen gleichzeitig zu verarbeiten? Ist man unter Multitasking tatsächlich produktiver oder läuft man Gefahr sich zu verzetteln?

Ein weiterer wichtiger, in Multitaskingstudien jedoch kaum untersuchter Aspekt betrifft übergeordnete Handlungsüberwachungs- und Lernprozesse, die einer Reaktion nachfolgen. Bleiben unter der Annahme einer begrenzten Aufmerksamkeit- und Verarbeitungskapazität des Gehirns (Abschnitt 1.1) beim Multitasking genug Ressour-

cen, um beispielsweise während eines Telefonats, einen Eingabefehler am Computer zu bemerken, diesen zu verarbeiten und gegebenenfalls zu korrigieren?

Eine eingehende Untersuchung der Fehlererkennungs- und -verarbeitungsprozesse unter Multitasking ist von ausschlaggebender Bedeutung. Denn auch unter komplexen Arbeitsbedingungen muss eine ausreichende Arbeitsqualität und Sicherheit gewährleistet werden.

Unter diesem Aspekt wurden unter Ableitung des EEG zwei Personengruppen im erwerbsfähigen Alter experimentell untersucht (20- bis 35-Jährige und 50- bis 65-Jährige).

Mit dem Ziel, eine Verbindung zum modernen Bildschirmarbeitsplatz zu schaffen, wurde eine visuell-manuelle Anforderung (PC-Tätigkeit) mit einer auditiv-sprachlichen Aufgabe (verbale Antwort erfordernde Anfragen) kombiniert.

Durch die exakte zeitliche Aufgabensynchronisation wurde das simultane Auftreten von zwei Ereigniskorrelierten Potentialen (EKP) des EEG angestrebt (ERN und N400-Komponente des EEG). Die diesen EKP zugrunde liegenden Prozesse des Fehlermonitorings (ERN) und der semantischen Identifizierung eines Inhaltes (N400) wurden auf die Möglichkeit einer einbußfreien Ausführung unter Multitasking untersucht. Dabei waren zwei Fragestellungen von besonderem Interesse:

1. Kann unser Gehirn zwei Prozesse gleichzeitig ausführen, die eine bewusste Verarbeitung erfordern (kontrollierte Prozesse)? Inwiefern lassen sich bereits auf der zentralnervösen Ebene Hinweise bzgl. der Fähigkeit bzw. Unfähigkeit des Gehirns zum „Multitasken“ erkennen?
2. Sind unter Multitasking die Fehlererkennung und -verarbeitung beeinträchtigt?

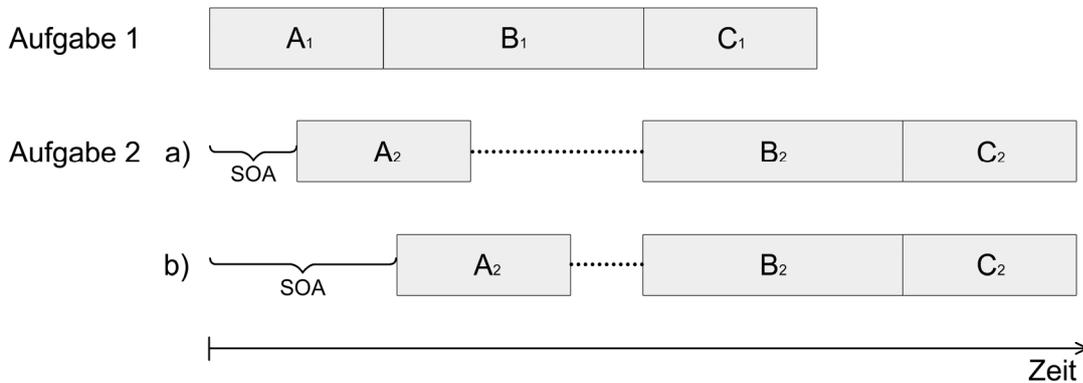
## **1.1 Theoretische Erklärungsansätze zur Leistung und Interferenz in Mehrfachaufgaben**

### **1.1.1 Flaschenhalstheorien**

Modellhafte Erklärungen für Leistungseinbußen bei zeitlicher Aufgabenüberlagerung, verfolgen das Ziel, mögliche Ursachen für Wechselwirkungen zu erschließen und Leistungsunterschiede vorhersagbar zu machen. Die in wissenschaftlichen Arbeiten am meisten angewendeten und geprüften Doppelaufgabentheorien sind die Flaschenhalsmodelle. Dabei werden in der Regel im Rahmen des sogenannten PRP-Paradigmas (PRP, psychological refractory period, vgl. Abb. 1.1) nacheinander zwei Aufgaben in variablen zeitlichen Abständen (SOA, Stimulus Onset Asynchrony) präsentiert und die Leistung in Abhängigkeit von der Aufgabenüberlagerung beurteilt. Die in Untersuchungen zur Psychologischen Refraktärzeit beobachtete Aufgabeninterferenz (Zunahme der Fehlerraten und Reaktionszeiten in der Zweitaufgabe) (Telford, 1931 zit. nach Pashler, 1994a; Welford, 1952), wird von Vertretern der Ein-Kanal-Theorien auf die hypothetische Annahme eines kapazitätsbegrenzten, seriell arbeitenden Verarbeitungskanals (sog. kognitiven Flaschenhals) zurückgeführt, der pro Zeiteinheit von nur einem Prozess in Anspruch genommen werden kann.

Wird der zentrale Mechanismus durch die eine Aufgabe beansprucht, aber von beiden benötigt, kommt es zu einem Engpass, der die parallele Verarbeitung der Folgeaufgabe zeitweilig hemmt (cognitive slack) und die Reaktionszeit auf den zweiten Reiz steigen lässt (Pashler 1994a; Pollmann, 2008). Die Reaktionszeitverlängerung steht in einer umgekehrt proportionalen Beziehung zum Zeitintervall zwischen den beiden Reizen (SOA). Je größer die zeitliche Überlappung beider Aufgaben, umso

länger muss die Zweitaufgabe auf die Wiederverfügbarkeit des von der ersten Anforderung beanspruchten Teilprozesses warten (vgl. Abb. 1.1). Stufen vor und nach dem Engpass können ohne zeitlichen Aufschub parallel bearbeitet werden (nach Heuer, 1996).



**Abb. 1.1** Schematische Darstellung eines Flaschenhalsmodells (in Anlehnung an Pashler, 1994b). A = Reizwahrnehmung; B = Reaktionsauswahl; C = motorische Prozesse. Die Stufe B stellt den Verarbeitungsempass dar.

Die Ein-Kanal-Theorien unterscheiden sich hinsichtlich der Lokalisation und Anzahl angenommener Verarbeitungsempässe. Während die ersten Vorstellungen von einem globalen, singulären Kanal ausgingen, der alle Verarbeitungsstufen zwischen Reizwahrnehmung und Antwortproduktion umfasste, sprachen nachfolgende Untersuchungen für spezifische, serieller Verarbeitung unterliegende Teilprozesse. Broadbent (1958, zit. nach Wickens, 2002) vermutete einen perzeptuellen Flaschenhals, während ihn Welford (1952) auf der Ebene der Entscheidungs- und Handlungsauswahl postulierte. Auch das momentan am meisten gestützte zentrale Engpassmodell von Pashler (1984) nimmt einen Engpass auf der zentralen Verarbeitungsebene der Reaktionsauswahl an. Keele (1973) geht von einem im Informationsverarbeitungsvorgang erst spät auftretenden motorischen Flaschenhals aus, den er auf der Ebene der Initiierung oder Ausführung von Reaktionen sieht (zit. nach Pashler, 1994a). Ein Hybridmodell, das die Doppelaufgabeninterferenz durch Flaschenhalsprozesse auf mehreren Informationsverarbeitungsstufen zu erklären versucht, wird von De Jong (1993) beschrieben. Insgesamt wird die Annahme einer seriellen Verarbeitung von Teilprozessen weitestgehend empirisch gestützt (siehe Abschnitt 1.2).

### 1.1.2 Modelle zentraler Kapazität

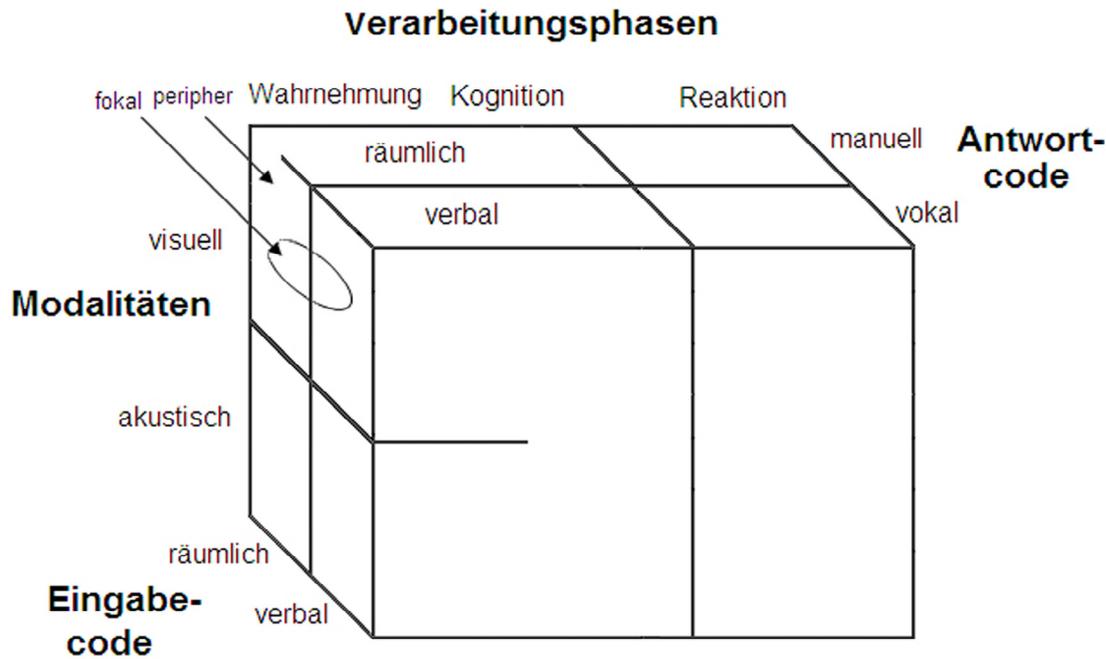
Anders als die Filtermodelle, die die Zeit als limitierenden Faktor betrachten (Hendy, Liao & Milgram, 1997; Wickens, 2002), der am kognitiven Engpass nicht zwischen den Aufgaben aufgeteilt werden kann, prägte Moray (1967) die Vorstellung eines zentralen Prozessors mit begrenzter Kapazität (zit. nach Wickens, 2002), dessen Ressourcen (Verarbeitungskapazität bzw. mentale Ressourcen) flexibel abgestuft, zu jedem Zeitpunkt unterschiedlichen Aufgaben zugeteilt werden können. Ähnlich der begrenzten Übertragungskapazität des Kanals wurde der Vorrat an Ressourcen als begrenzt angenommen und wie ein Filter bestimmte Inputs durchlassen und andere zurückweisen kann, könne auch die Kapazität bestimmten Inputs zugewiesen und anderen vorenthalten werden (Neumann, 1996). Der wesentliche Unterschied be-

steht in der Möglichkeit der zeitgleichen Aufgabenbearbeitung auf jeder Informationsverarbeitungsstufe. Auch wird die konkrete Ressourcenallokation zu den jeweiligen Aufgaben in bestimmtem Maße als strategisch beeinflussbar angesehen (Wickens & Gopher, 1977). Aufgrund der Begrenztheit der zur Verfügung stehenden Kapazitätsmenge, wird eine Aufgabenbearbeitung ohne Leistungseinbußen nur so lange möglich sein, bis die Einheitsressource nicht ausgeschöpft ist. Eine Aufgabeninterferenz, die sich je nach Ressourcenzuteilung in Reaktionszeitverzögerungen oder Handlungsfehlern, in einer oder beiden Aufgaben niederschlagen kann, wäre auf das Überschreiten der Gesamtkapazitätsgrenze zurückzuführen (Kiefer & Urbas, 2006). Die Mehrfachaufgabenleistung hängt maßgeblich davon ab, wie viel Kapazität die jeweiligen Aufgaben beanspruchen und auf welche Weise diese zwischen den parallelen Anforderungen aufgeteilt wird. Als „automatisiert“ werden Anforderungen bezeichnet, die keine Ressourcen erfordern. „Ressourcenlimitierte“ Aufgaben benötigen für eine maximale Leistung die gesamte Kapazität (Wickens, 2002). Der wachsenden empirischen Bedeutsamkeit struktureller Aufgabenähnlichkeit (McLeod, 1977) begegnete Kahnemann (1973) mit dem Postulat „Struktureller Interferenz“. Wobei die wesentliche interferenz-modulierende Rolle der kapazitätslimitierten zentralen Allzweckressource vorbehalten blieb.

### 1.1.3 Theorien multipler Ressourcen

Auch Theorien multipler Ressourcen gehen von einer Limitierung des kognitiven Systems aus (Kiefer & Urbas, 2006). Für die Effizienz der Multitaskingleistung wird jedoch nicht die globale Ressourcenaufteilung oder die Schwierigkeit beteiligter Aufgaben als relevant angesehen, sondern die Art der strukturellen Anforderungen, die an das menschliche Informationsverarbeitungssystem gestellt werden (Wickens, 2002). So wird die Gesamtkapazität als die Summe verschiedener, diskreter Einzelkapazitäten aufgefasst, die je nach Theorie unterschiedlich definiert werden (z. B. Navon & Gopher, 1979; Friedman & Polson, 1981; Wickens, 1980). Wickens (1980) begründete seine Theorie multipler Ressourcen durch eine mehr als 50 Studien umfassende Metaanalyse. Die Mehrfachaufgabenleistung schien durch die Annahme mehrerer voneinander unabhängiger, aber jeweils in sich kapazitätsbegrenzter Ressourcen präziser vorhergesagt zu werden, als mithilfe einer globalen Einheitsressource (Wickens, 2002; Wickens, 2008; Wickens & Liu, 1988). Wickens beschrieb zunächst drei, später vier kategoriale, neurophysiologisch begründete Dimensionen, die er modellhaft in einem Würfel zusammenfasste (Abb. 1.2):

- (1) Verarbeitungsstufen (perzeptive Enkodierung; zentral-kognitive Verarbeitung; Reaktion),
- (2) Wahrnehmungsmodalitäten (auditiv vs. visuell) und
- (3) Verarbeitungsweisen (verbal vs. räumlich)
- (4) Visuelle Kanäle (fokal vs. ambient).



**Abb. 1.2** Darstellung der Struktur multipler Ressourcen nach Wickens (2002).

Nach dem Modell interferieren zwei Aufgaben bei ansonsten gleich bleibenden Anforderungen (z. B. Ressourcenanforderungen bzw. Aufgabenschwierigkeiten) umso stärker, je mehr bei ihrer Ausführung auf dieselbe Ressourcenausprägung zugegriffen werden muss (z. B. beide erfordern visuelle Wahrnehmung) und umso weniger, je stärker jeweils unterschiedliche Ressourcenpole gebraucht werden (z. B. eine visuelle und eine auditive Wahrnehmungsanforderung) (Wickens, 2002). Soweit keine gemeinsamen Ressourcen verwendet werden, können mehrere Aufgaben auch bei starker zeitlicher Überlappung ohne Einbußen ausgeführt werden (Kiefer, Schulz, Schulze-Kissing & Urbas, 2006). Das Modell multipler Ressourcen von Wickens (1980) hat somit einen hohen heuristischen Wert für praktische und theoretische Gestaltung von Multitaskingsituationen (Wickens, 2002).

## 1.2 Modulierende Faktoren der Doppelaufgabenleistung

Zahlreiche Untersuchungen zur experimentellen Doppelaufgabenbewältigung legen nahe, dass der simultanen Aufgabenausführung im Vergleich zur Einzelaufgabensituation Grenzen gesetzt sind (z. B. Ruthruff, Pashler & Klaassen, 2001b; Tombu & Jolicoeur, 2004). In welchem Ausmaß die beobachteten Leistungseinbußen während paralleler Aufgabenbearbeitung auf strategische (z. B. Meyer & Kieras, 1997a, 1997b), kapazitätsbedingte (z. B. Kahneman, 1973; Tombu & Jolicoeur, 2003, 2005; Wickens, 2002) und/oder strukturelle Aspekte des Informationsverarbeitungssystems zurückzuführen sind (z. B. Pashler, 1984, 1992, 1994b; Ruthruff et al., 2001b; Ruthruff, Pashler & Hazeltine, 2003; Welford, 1952), wird kontrovers diskutiert (siehe auch Ruthruff, Hazeltine & Remington, 2006). Einige Autoren bezweifeln die Möglichkeit der gänzlichen Eliminierung von Multitaskingkosten (z. B. Pashler, 1992), andere plädieren unter bestimmten Voraussetzungen für die Existenz des perfekten „time sharing“ (Hazeltine, Teague & Ivry, 2002; Oberauer & Kliegl, 2004; Schumacher et al., 2001; Watson & Strayer, 2010).

Abgesehen von wenigen Ausnahmen, die eine nahezu perfekte Ressourcenallokation demonstrieren und damit wichtige Anregungen für die empirische und theoretische Forschung liefern, spricht der weitaus größere Teil der Befunde für eine starke Robustheit des oft in diesem Zusammenhang untersuchten PRP-Effektes: „It has been shown to occur with many different combinations of stimulus and response modalities . . . . It has also been demonstrated using a wide variety of paradigms, including simple, choice, and go/no-go response-time paradigms, and with a wide variety of judgments, including stimulus identification, analog judgments of position and extent, categorization, and naming.” (Van Selst, Ruthruff & Johnston, 1999, S. 1268).

Neben der hohen Generalisierbarkeit der Befunde zu ansteigenden Bearbeitungskosten mit zunehmender *zeitlichen Aufgabenüberlappung* über verschiedene experimentelle Bedingungen, Effektorsysteme und sensorische Modalitäten hinweg (Pashler, 1994a), konnten einige weitere, die Aufgabeninterferenz begünstigende bzw. mindernde Faktoren ausgewiesen werden.

So scheint insbesondere mit zunehmender *Übung* die Interferenz unter Multitasking erheblich reduziert und in einigen Fällen sogar eliminiert werden zu können. Van Selst und Ruthruff (Van Selst et al., 1999) trainierten innerhalb des PRP-Paradigmas (vgl. Abbildung 1.1) sich selbst und vier weitere Probanden in der gleichzeitigen Ausführung einer auditiv-vokalen und einer visuell-manuellen Aufgabe über 36 Sitzungen hinweg. Jede Sitzung umfasste 348 Experimentaltrials, die in randomisierter Folge drei Schwierigkeitsmanipulationen<sup>1</sup> in sechs SOA-Variationen beinhalteten. Der anfängliche mittlere PRP-Effekt von 352 ms sank bereits in der 18. Sitzung auf 38 ms und verschwand bei einem Probanden gänzlich. Durch die Erhöhung der Aufgabenschwierigkeit in den nachfolgenden beiden Sitzungsblöcken (bis Sitzung 26 bzw. bis Sitzung 36) blieb der Übungseffekt bei ca. 40 ms und lässt eher eine Unterschätzung der potentiell möglichen PRP-Effekt-Reduzierung vermuten. Im Zusammenhang mit derart drastischem Rückgang des PRP-Effektes werden unter anderem das Vorliegen eines latenten Flaschenhalses (Levy & Pashler, 2001), die Verkürzung von Verarbeitungsstufen (v. a. der zentralen Verarbeitungsstufe der ersten Aufgabe) (Ruthruff, Johnston & Van Selst, 2001a, 2006), eine Automatisierung von Substufen der zweiten Aufgabe (Ruthruff et al., 2001a), die Eliminierung des Flaschenhalses (Ruthruff et al., 2006) sowie die Beschleunigung der Abläufe im Präfrontalkortex (Dux et al., 2009), diskutiert.

Solchen Befunden stehen aber auch Untersuchungen gegenüber, die zwar eine Reduzierung der Reaktionszeiten, jedoch keine Reduktion der Doppelaufgabenkosten im Sinne einer Verminderung des PRP-Effektes verzeichnen konnten (z. B. Van Selst & Jolicoeur, 1997) und solche, die trotz Übung kaum relevante Reaktionszeitveränderungen beobachtet haben (nach Van Selst, 1999). Pashler (1992) zufolge sind gewisse Restkosten auch mit Übung nicht zu eliminieren: “It has (also) been observed that thousands of trials of practice do not generally abolish the interference. . . . when it comes to selecting responses, practice does not readily eliminate the fundamental bottleneck.” (S. 45, S. 48).

---

<sup>1</sup> Auch die experimentelle Variation der Aufgabenschwierigkeit moduliert die Doppelaufgabenkosten. Die Schwierigkeitsmanipulation kann auf verschiedenen Ebenen der Informationsverarbeitung erfolgen: Wahrnehmung (z. B. Signalrauschen), zentrale Verarbeitung (z. B. Menge an Antwortalternativen) und Reaktion (z. B. S-R-Kompatibilität). Aufgrund definitorischer Probleme und dem Fehlen eines unabhängigen Maßes zur Erfassung der Schwierigkeit einer Anforderung, besteht die Gefahr eines Zirkelschlusses und teilweise Überschneidungen zu anderen Konstrukten (insbesondere zur Aufgabenähnlichkeit und der S-R-Kompatibilität).

Einige Autoren nehmen an, dass das PRP-Paradigma nicht besonders geeignet ist, die Eliminierung durch Multitasking verursachter Kosten zu untersuchen (Schumacher et al., 2001; Ruthruff et al., 2006). Durch Begünstigung bestimmter *Bearbeitungsstrategien* oder instruierter unterschiedlicher *Priorität* beider Aufgaben könnte eine potentiell mögliche Interferenzreduktion nicht immer erreicht werden. So demonstrierte Schumacher et al. (2001) unter Verwendung einer auditiv-vokalen und einer visuell-manuellen Aufgabe in einem „simultaneous-presentation“-Paradigma (Ruthruff et al., 2006) nach 5 Sitzungen ein „perfect time sharing“. Beim Wechseln zum PRP-Paradigma zeigten sich unter Verwendung derselben Aufgaben jedoch signifikante Doppelaufgabenkosten und deutlich höhere Fehlerraten (2,6 % bzw. 12 %) (siehe aber Ruthruff et al., 2006). Denkbar wäre, dass die Priorisierung der ersten Aufgabe eine serielle Verarbeitung wahrscheinlicher macht, wohingegen eine gleichzeitige Aufgabendarbietung die simultane Bearbeitung begünstigt. Bei fehlender Instruktion hinsichtlich unterschiedlicher Gewichtung beider Aufgaben, wird im PRP-Paradigma jedoch oftmals spontan eine *Antwortgruppierung* vorgenommen (Pashler, 1994b). So könnte in einem Teil der Durchgänge anstatt zweier sukzessiver Reaktionen eine Doppelreaktion erfolgen und die beobachtbaren Doppelaufgabenkosten zumindest auf die erste Aufgabe beeinflussen (Heuer, 1996).

Des Weiteren wird diskutiert, inwieweit der *Aufgabenantizipation und -vorbereitung* eine Interferenz modulierende Rolle zukommt (z. B. Pashler, 1994a). Levy und Pashler (2001) untersuchten die Effekte der Aufgabenantizipation innerhalb eines Designs mit vier verschiedenen Blocktypen (separate Bearbeitung der ersten Einzelaufgabe, separate Bearbeitung der zweiten Einzelaufgabe, abwechselnde Darbietung beider Einzelaufgaben sowie simultane Präsentation beider Einzelaufgaben). Der Unterschied zwischen den ersten beiden und dem dritten Darbietungstyp bestünde demnach lediglich im unterschiedlichen Ausmaß der Aufgabenvorbereitung. Während sich bei der Akkuratheit der Reaktionen nur eine etwas geringere prozentuale Fehlerhäufigkeit bei blockweise separater Darbietung der Aufgaben andeutete, zeigten sich für die Reaktionszeiten wesentliche Unterschiede in Richtung längerer Antwortlatenzen bei abwechselnder Einzeldarbietung im Vergleich zu getrennter Bearbeitung (sog. mixing costs). Gottsdanker (1979) erklärt diesen Effekt durch den vermehrten Aufwand des gleichzeitigen Behaltens beider Reiz-Reaktion-Mappings im Arbeitsgedächtnis oder die fehlende Möglichkeit, die Art der Folgeaufgabe zu erraten (zit. nach Hazeltine, Ruthruff & Remington, 2006). Ruthruff et al. (2001b) konnten jedoch zeigen, dass trotz identischer Einzel- und Doppelaufgabenvorbereitung, durch das Zwischenschalten von Einzelaufgaben zwischen die simultan auszuführenden Aufgaben, wesentliche Doppelaufgabenkosten entstehen, die nicht durch Unterschiede in der Aufgabenvorbereitung erklärt werden können. Der Vergleich zwischen abwechselnder und simultaner Aufgabebearbeitung in der Studie von Levy und Pashler (2001) bestätigt diesen Befund ebenfalls durch den Nachweis deutlich höherer Reaktionszeiten bei simultaner Bearbeitung im Vergleich zur abwechselnden Darbietung beider Einzelaufgaben (vgl. auch Hazeltine et al., 2006). Auf mögliche Effekte der Aufgabenvorbereitung im Rahmen des PRP-Paradigmas wird in Ruthruff et al., 2001b eingegangen.

Einen nicht unwesentlichen Einfluss auf die Multitaskingleistung hat des Weiteren die *Wahl und Kombination der Input- und Outputkanäle* (Hazeltine et al., 2006; Hazeltine & Ruthruff, 2006; Liepelt, Fischer, Frensch & Schubert, 2011; Ruthruff et al., 2006; Wickens, Sandry & Vidulich, 1983). Van Selst et al. (1999) führt die in früheren Untersuchungen selten beobachtete Reduktion der Doppelaufgabenkosten auf die häufige Verwendung von schwer erlernbaren manuell-manuellen Reaktionsanforderun-

gen zurück (vgl. auch McLeod, 1977; Ruthruff et al., 2001a; Van Selst & Jolicoeur, 1997), die zu Crosstalk-Effekten bei der Entscheidungsauswahl führen können. Neben der Berücksichtigung peripherer Interferenz durch bedachte Wahl von Ein- und Ausgangskanälen (vgl. Abschnitt 1.1.3), betonen Hazeltine und Ruthruff (2006) die Rolle der Input- und Output-Modalitätszuordnung („modality pairing“), welche die Aufgabenleistung trotz unterschiedlicher Stimulus-Response-Modalitäten entscheidend beeinflussen kann. Ruthruff et al. (2006) unterscheiden zwischen „preferred“ (visuell-manuell (VM) und auditiv-vokal (AV)) und „non-preferred modality pairings“ (visuell-vokal (VV) und auditiv-manuell (AM)). In einer Studie von Hazeltine und Ruthruff (2006) wurden vier Probandengruppen in einer Doppelaufgabensituation untersucht. Davon bildeten zwei die Standardgruppe mit der bevorzugten Modalitätszuordnung (AVVM und VMAV) und zwei die Non-Standardgruppe mit der weniger bevorzugten Paarung (AMVV und VVAM). Der Unterschied zwischen den Gruppen gleicher Modalitätskombination bestand in der Aufgabenreihenfolge innerhalb des angewendeten PRP-Paradigmas. Die Gesamtheit der Stimuli und Reaktionen wurde für alle vier Gruppen gleich gehalten und die Probanden instruiert, möglichst schnell und richtig auf beide Aufgaben zu reagieren, ohne dabei die Reaktion auf die Erstaufgabe zu verzögern. Bei der statistischen Auswertung mithilfe der ANOVA (Varianzanalyse) zeigte sich für die erste Aufgabe ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen Stimulus und Reaktion. Die Gruppen AVVM und VMAV reagierten signifikant schneller im Vergleich zu den „non-standard“-Gruppen. Auch für die zweite Aufgabe zeigten die beiden „non-standard“-Gruppen um 194 ms längere mittlere Reaktionszeiten und somit eine höhere Doppelaufgabeninterferenz. Die in aller Regel effizientere Multitaskingleistung bei visuell-manuellen und auditiv-vokalen Aufgaben kann nach Ruthruff et al. (2006) durch jeweils gemeinsam geteilte Repräsentationen (z. B. Schall, Raum) und häufigere Verwendung im Alltag (Greifen nach visuellen Objekten, verbale Reaktion auf Ansprache) erklärt werden.

Diskutiert wird auch, inwieweit derartige Effekte durch eine höhere *Stimulus-Response-Kompatibilität* in der AV - VM - Bedingung beeinflusst sein könnten. Dass die Entsprechung von Reiz-Reaktionselementen die Entscheidungsauswahlprozesse und dadurch die Multitaskingleistung mitbestimmt, zeigten beispielsweise Hohlfeld, Sangals und Sommer (2004b). In einer Experimentenreihe wurde unter anderem die S-R-Kompatibilität der Erstaufgabe manipuliert. Die Buchstaben L und R erforderten entweder eine mit der deutschen Richtungsbezeichnung übereinstimmende (L = linkes Pedal; R = rechtes Pedal) oder nicht übereinstimmende (L = rechtes Pedal; R = linkes Pedal) fußmotorische Reaktion. Es ergaben sich deutlich höhere Reaktionszeiten für die inkompatible im Vergleich zur kompatiblen Stimulus-Response-Zuordnung (komp. = 757 ms; inkomp. = 881 ms).

Untersuchungen zu „modality pairing“-Effekten konnten geringe Reaktionszeitunterschiede auch in Einzelaufgaben feststellen, die durch unterschiedliche Reiz-Reaktions-Kompatibilität bedingt sein könnten. Die bis zu 200 ms reichenden Reaktionszeitdifferenzen in Multitaskingaufgaben dürften jedoch schwer auf solche Kompatibilitätseffekte zurückzuführen sein (Hazeltine & Ruthruff, 2006). Denn auch nach dem Angleichen der S-R-Kompatibilität zeigten sich für präferierte Modalitätspaare signifikant geringere Reaktionszeiten im Vergleich zu der Bedingung mit der nicht präferierten Modalitätszuordnung (Hazeltine et al., 2006). Für eine Betrachtung der "modality pairing"-Effekte unter Einbezug fußmotorischer Reaktionsanforderungen sei auf Liepelt et al. (2011) verwiesen.

Weiterhin gab es bereits frühe Befunde (z. B. Segal und Fusella, 1970, zit. nach Eysenck, 2001), welche zeigten, dass Aufgaben, die verwandte Gedächtnisformate tei-

len, in der simultanen Bewältigung stärker beeinträchtigt sind als solche, die unterschiedliche *zentrale Repräsentationen* beanspruchen (z. B. verbal vs. räumlich). In einem weiterführenden Experiment manipulierten Hohlfeld et al. (2004b) die Art der Zweitaufgabe, während die Erstaufgabe, welche eine manuelle Entscheidung hinsichtlich semantischer Gleichheit zweier Substantive erforderte, gleich blieb. Im Falle einer sprachbezogenen Zusatzaufgabe, die eine fußmotorische Reaktion auf die Buchstaben L und R verlangte, zeigten sich deutlich längere Reaktionszeiten (verbal = 639 ms; räumlich = 515 ms) und eine tendenziell höhere Fehlerhäufigkeit im Vergleich zur räumlichen Zweitaufgabe (verbal = 8,4 %; räumlich = 6,6 %), in der auf ein rechts bzw. links vom Fixationspunkt eingeblendetes Quadrat fußmotorisch reagiert werden sollte. Nicht zuletzt wurden Faktoren untersucht, die auf *individueller Ebene* eine Variation der Doppelaufgabenkosten erklären könnten. Schumacher et al. (2001) identifizierte mithilfe der hierarchischen Clusteranalyse nach Ward (1963) drei Subgruppen von Probanden, deren Bildung er durch Neigung zu unterschiedlichen Bearbeitungsstrategien interpretierte (gewagt – moderat – vorsichtig). Liepelt et al. (2011) fand für die visuell-manuelle und auditiv-verbale Aufgabenkombination eine hohe Korrelation ( $r^2 = .85$ ) zwischen der individuellen Reaktionszeit in den Einzelaufgaben und den Kosten während simultaner Aufgabenbearbeitung. Dieser Zusammenhang konnte jedoch unter der auditiv-fußmotorischen Zusatzaufgabe nicht bestätigt werden (siehe auch Watson & Strayer, 2010). König, Bühner und Mürling (2005) wiesen in einer hierarchischen multiplen Regressionsanalyse vor allem Unterschiede im Arbeitsgedächtnis und fluider Intelligenz, aber auch in der Aufmerksamkeit als modulierende Faktoren der Multitaskingleistung (erfasst durch SIMKAP, 2003) aus. Die selbst berichtete Polychronizität (erfasst durch IPV, 1999) stand in keinem Zusammenhang zur Multitaskingperformanz (vgl. aber Ophir et al., 2009 und Zhang & Goonetilleke, 2004), auch nicht zur Extraversion (NEO-FFI, 1993). Watson und Strayer (2010) liefern durch vertiefte Untersuchung besonders multitaskingfähiger Probanden überzeugende Evidenz für die Bedeutung exekutiver Aufmerksamkeit für die Multitaskingleistung während einer Fahrsimulation.

### 1.3 Doppelaufgabenleistung im Altersvergleich

Leistungsunterschiede in Multitaskingexperimenten zwischen jüngeren und älteren Erwachsenen gehören zu den robustesten Befunden der kognitiven Altersforschung (Hein & Schubert, 2004; Sit & Fisk, 1999; Strobach, Frensch, Müller & Schubert, 2012; Wild-Wall, Hahn & Falkenstein, 2011) und konnten in mehreren Metaanalysen konsistent ausgewiesen werden (Riby, Perfect & Stollery, 2004; Verhaeghen, Steitz, Sliwinski & Cerella, 2003). Gegenläufige Befunde mit gleicher oder gar geringerer Beeinträchtigung Älterer im Vergleich zu jüngeren Erwachsenen sind vergleichsweise selten (bspw. Hartley, Maquestiaux & Butts, 2011; Nyberg, Nilsson, Olofsson & Bäckman, 1997). In einer Fragebogenuntersuchung (Divided Attention Questionnaire, DAQ, Tun & Wingfield, 1995) schätzten zudem ältere Personen im Gegensatz zu den jüngeren Studienteilnehmern die empfundene Schwierigkeit der meisten alltäglichen Multitaskinganforderungen als höher ein und berichteten von insgesamt weniger zeitgleicher Aufgabenerledigung. Insbesondere Tätigkeiten, die Verarbeitung neuartiger Informationen verlangen, werden unter Multitasking mit den Jahren als zunehmend schwieriger erlebt. Routinierte Aktivitäten und sprachbezogene Tätigkeiten hingegen scheinen in der empfundenen Belastung über Altersgruppen hinweg nur geringfügig zu variieren.

Die im Durchschnitt subjektiv und objektiv schlechter gelingende Verarbeitung mehrerer Anforderungen zur gleichen Zeit könnte im Zusammenhang mit den im fortgeschrittenen Lebensalter gefundenen Defiziten in verschiedenen kognitiven Funktionen stehen (Wild-Wall & Falkenstein, 2010). Teilweise können diese Funktionseinbußen auf spezifische neuropathologische Veränderungen im Gehirn zurückgeführt werden (v. a. im präfrontalen Cortex, medialem Temporallappen, weißer Substanz), die vor allem Strukturen betreffen, die mit exekutiven Prozessen (z. B. Planen, Überwachen, Aufgabenkoordination, Inhibition irrelevanter Reaktionen), der Arbeitsgedächtnisleistung und der allgemeinen Verarbeitungsgeschwindigkeit assoziiert sind (Baethge & Rigotti, 2010; Hedden & Gabrieli, 2004). Unter Multitasking, einem wesentlichen Beispiel für den Einsatz exekutiver Funktionen (Baddeley, 1996, nach Göthe, et al. 2007), kann die abnehmende Steuer- und Koordinationsfähigkeit die Leistung bedeutend beeinträchtigen (Korteling, 1991 nach Sik & Fisk, 1999). Auch nach dem Herauspartialisieren altersbedingter Leistungsdifferenzen in Einfachaufgaben, bleibt die durchschnittlich schlechtere Leistung Älterer unter Multitasking erhalten (Hahn, Wild-Wall & Falkenstein, 2011; Hein & Schubert, 2004). Die exekutive Kontrolle scheint umso mehr zu leiden, je stärker das Arbeitsgedächtnis beansprucht wird (nach Holtzer, Stern & Rakitin, 2005) und je mehr motorische Reaktionen zu koordinieren sind (nach Hahn et al., 2011). Auch die mit dem Alter abnehmende Inhibitionskontrolle (nach Wild-Wall & Falkenstein, 2010), d.h. die Fähigkeit aufgabenirrelevante Reize bewusst zu unterdrücken, erschwert die effiziente Aufmerksamkeitsausrichtung auf relevante Stimuli (Inhibitionsdefizithypothese, Hein & Schubert, 2004; Hasher & Zacks, 1988; Tun & Wingfield, 1995). Studien zeigen, dass Ältere bereits bei der Reizwahrnehmung stärker als jüngere Probanden dazu neigen, von mehreren Inputs und zu ignorierenden Stimuli abgelenkt zu werden (z. B. Hein & Schubert, 2004). Auch in diesem Fall scheint die Inhibitionskontrolle stärker beeinträchtigt zu sein, wenn hohe Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis gestellt werden (Hahn et al., 2011).

Andere Autoren postulieren von der Parallelität der Verarbeitung unabhängige Ursachen, die sich zwar in der Mehrfachaufgabenleistung niederschlagen, jedoch nicht spezifisch für Multitaskingsituationen sind. Für Salthouse (1985) stellt die generelle altersbedingte Verlangsamung der allgemeinen kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit die Hauptursache für altersspezifische Doppelaufgabenkosten dar (Holtzer et al., 2005; Sit & Fisk, 1999). McDowd (1986) vermutet, dass ältere Personen im Vergleich zu jüngeren mit zunehmender Aufgabenkomplexität proportional langsamer werden (Komplexitätshypothese, nach Sit & Fisk, 1999) und das sowohl in Einfach- wie Mehrfachaufgaben.

Da die neuronalen Veränderungen nicht alle Strukturen in gleicher Weise betreffen und die Leistungsunterschiede mit zunehmendem Lebensalter interindividuell stärker variieren (Hedden & Gabrieli, 2004), bleibt die Frage nach dem Ausmaß und der Spezifität des Einflusses altersassoziierter neuronaler Veränderungen auf die Mehrfachaufgabenleistung.

Denkbar wäre auch ein sich mit dem Lebensalter veränderndes strategisches Vorgehen. Untersuchungen fanden bei Älteren eine stärker genauigkeitsbetonte Reaktionsstrategie (Li, Krampe & Bondar, 2005) unter zumeist geringerer Berücksichtigung der Reaktionsgeschwindigkeit. Jüngere Erwachsene neigen hingegen zu riskanterem Vorgehen: schnellere Antworten, jedoch mehr Fehler (Dutilh, Forstmann, Vandekerckhove & Wagenmakers, 2012; Falkenstein, Hoormann, Christ & Hohnsbein, 2000; Göthe, Oberauer & Kliegl, 2007).

Trotz der Eindeutigkeit der im Durchschnitt stärkeren Beeinträchtigung der Multitaskingleistung älterer Erwachsener, ist die Frage nach der Ursache der Leistungseinbußen noch offen und wird weiterhin kontrovers diskutiert (Sit & Fisk, 1999; Holtzer et al., 2005).

In der vorliegenden Studie soll untersucht werden, inwieweit die Prozesse der Fehler- und Sprachverarbeitung unter Multitasking bereits im Erwerbsalter auf zentraler Ebene der Informationsverarbeitung im EEG bei älteren und jüngeren Probanden unterschiedlich ablaufen.

## **1.4 Methodische Grundlagen der Elektroenzephalographie**

### **1.4.1 Hirnelektrische Aktivität**

Die von der Schädeloberfläche messbare elektrische Aktivität im EEG entsteht hauptsächlich durch exzitatorische postsynaptische Potentiale (EPSP) an den apikalen Dendriten, der zur Kortexoberfläche senkrecht stehenden Pyramidenzellen. Auch inhibitorische postsynaptische Potentiale (IPSP) der Cortexneuronen schlagen sich im EEG nieder, obgleich diesen aufgrund der wesentlich kleineren extrazellulären Ströme eine geringere Bedeutung zukommt (Birbaumer & Schmidt, 2006). Gliazellen tragen zur Verstärkung und Ausbreitung der extrazellulären negativen Potentiale bei. Aktionspotentiale, denen eine wesentliche Bedeutung für die Informationsverarbeitung zukommt, schlagen sich hingegen nicht im EEG wider. Die senkrechte Ausrichtung kortikaler Module erlaubt eine Summation der Dipole einzelner Zellen, sodass große Feldpotentiale entstehen, die auf weite Distanzen messbar sind. Wird von unspezifischen thalamischen Kernen Information an die Pyramidenzellen geleitet und weiter getragen, depolarisieren diese, was eine Negativierung zur Folge hat. Eine Positivierung entsteht infolge der Hemmung von Pyramidenzellen. Das EEG zeichnet sich durch eine hervorragende zeitliche Auflösung aus. Aufgrund der Ausbreitungs- und Überlagerungseigenschaften der bioelektrischen Aktivität ist die räumliche Auflösung jedoch begrenzt.

### **1.4.2 Signalerfassung**

Die Ableitung des Elektroenzephalogramms erfolgt in einem elektrisch abgeschirmten Raum, damit die sehr kleinamplitudigen elektrischen Potentiale möglichst störungsfrei verstärkt werden können (meist um Faktor  $10^4$  –  $10^6$ ). Zur besseren Vergleichbarkeit verschiedener Ableitungen, konnte 1957 über eine standardisierte Positionierung Einigkeit erzielt werden, die die einzelnen Elektrodenpositionen über relative Abstände zueinander von 10 % bzw. 20 % definiert (10-20-System, Jasper, 1958 nach Zschocke & Hansen, 2012). Auch eine international einheitliche Bezeichnung der Elektrodenpositionen wurde festgelegt, die sich an darunter liegenden Hirnarealen (Fp = frontopolar, F = frontal, T = temporal, O = okzipital, A = aurikulär) und Indexziffern (gerade Zahlen = links, ungerade Zahlen = rechts, z = Mittellinie „zero“) orientiert (Zschocke & Hansen, 2012). In der psychophysiologischen Forschung werden häufig Nylonkappen mit integrierten Elektroden mit vorgegebenen Positionen verwendet, die unter Beachtung von 4 Bezugspunkten am Kopf ausgerichtet (Nasion, Inion, präaurikuläre Punkte) und mithilfe eines Kinn- oder Brustgurtes befestigt werden. Vor der Ableitung elektrischer Potentiale wird die Haut mit Alkohol und abrasiver Paste gereinigt und die Elektroden mit einem elektrisch

leitenden Elektrodengel versehen, sodass Übergangswiderstände von idealerweise  $< 5 \text{ k}\Omega$  erreicht werden können. Meist wird nach dem Prinzip der Differenzverstärkung abgeleitet. Eine Referenzelektrode (z. B. an Nasenspitze oder Mastoidelektroden) wird jeweils von der Aktivität der restlichen Elektroden abgezogen und das jeweilige Differenzsignal mit dem Verstärkungsfaktor multipliziert. Rechnerisch besteht die Möglichkeit einer nachträglichen Umreferenzierung wie bspw. der Bildung einer Durchschnittsreferenz. Zusätzlich wird zur besseren Kontrolle der Lidschlag – und Augenbewegungsartefakte das horizontale und vertikale Elektrookulogramm erfasst. Je nach Fragestellung wird das EEG-Signal hoch- und tiefpassgefiltert, um alle interessierenden Frequenzen in ausreichend guter Auflösung darzustellen und bestimmte Artefaktquellen zu minimieren (z. B. durch Notchfilter 50 Hz, Bandsperrfilter). Andere Artefaktquellen (z. B. EKG-Einstreuungen, Bewegungs-/Muskelartefakte, Hautpotentiale u. a.) können durch Instruktion, rechnerische Verfahren oder Eliminierung abgemildert oder beseitigt werden.

### 1.4.3 Ereigniskorrelierte Potentiale

Unter Ereigniskorrelierten Potentialen werden hirnelektrische Spannungsänderungen verstanden, „die vor, während oder nach einem bestimmten sensorischen, motorischen oder kognitiven Ereignis im EEG auftreten“ (Müller, Candrian & Kropotov, 2011) und durch eine charakteristische Abfolge von positiven und negativen Spannungen relativ zu einer Ruhespannung charakterisiert sind (Gerloff, 2005). Die einzelnen Komponenten Ereigniskorrelierter Potentiale sind gekennzeichnet durch eine bestimmte topografische Verteilung an der Kopfoberfläche, ihre Polarität, Amplitudenhöhe und das Zeitfenster, in dem sie auftreten (Latenz) (Müller, Candrian & Kropotov, 2011). Die Benennung richtet sich in der Regel nach der Polarität (P = positiv; N = negativ) und entweder dem Zeitfenster, in dem das jeweilige Maximum bzw. Minimum auftritt (z. B. P300) oder der Rangfolge des Extremwertes (z. B. N2). Gelegentlich wird die Topographie in die Bezeichnung einbezogen (z. B. frontale N100). Endogene Komponenten, die im Gegensatz zu den frühen exogenen Komponenten ( $< 50 \text{ ms}$ ) nicht durch physikalische Reizmerkmale, sondern v. a. kognitive Prozesse beeinflusst werden, tragen teilweise ihrer Bedeutung entsprechende Bezeichnungen (z. B. Bereitschaftspotential oder Error Negativity). Ereigniskorrelierte Potentiale sind im Vergleich zur spontanen Gehirnaktivität ( $30\text{-}60 \mu\text{V}$ ) deutlich niederamplitudiger (z. B.  $5\text{-}10 \mu\text{V}$ ). Eine Verbesserung des Signal-Rauschverhältnisses kann durch Mittelung (Averaging) erreicht werden. Dabei werden die interessierenden Reizdarbietungszeitpunkte während der Aufzeichnung des EEGs durch Trigger markiert und anschließend die relevanten Epochen zeitlich synchronisiert gemittelt (Gerloff, 2005). Da davon ausgegangen wird, dass die EEG-Hintergrundaktivität zufällig verteilt ist, mittelt sich mit zunehmender Epochenzahl die nicht reizbezogene Aktivität heraus und die ereignisbezogene Potentialveränderung tritt in den Vordergrund.

## 1.5 Sprachverarbeitung und Fehlermonitoring

### 1.5.1 N400-Komponente

Kutas und Hillyard (1980) entdeckten im Zusammenhang mit semantisch unpassend endenden Sätzen (z. B. „I take coffee with cream and dog“ – anstelle von „sugar“) eine zentroparietale Negativierung des EEG, die aufgrund ihrer maximalen Ausprä-

gung ca. 400 ms nach der semantischen Verletzung als die N400-Komponente bezeichnet wurde. Nachfolgende Untersuchungen bestätigten mehrfach die Abhängigkeit der N400-Amplitude von der semantischen Verwandtschaft lexikaler Stimuli sowohl innerhalb einzelner Sätze als auch längerer Textpassagen (assoziativer, kategorialer, sinngemäßer etc. Zusammenhang) (Kutas & Federmeier, 2011; Kutas & Iragui, 1998). Der N400-Effekt reflektiert den kognitiven Aufwand zur semantischen Integration einer Information und konnte nicht nur für die Schrift- und die gesprochene Sprache, sondern auch für Gebärdensprache und eine Reihe weiterer Stimuli (z. B. Bilder) entdeckt werden (Übersicht bei Kutas & Federmeier, 2011). Je schlechter ein Inhalt in einen semantisch vorgebauten Kontext passt bzw. der aufgebauten Erwartung widerspricht (sog. „cloze probability“), umso höher fällt die N400-Amplitude aus. Während sich die N400-Latenz unter linguistischen und nicht-linguistischen Manipulationen als sehr stabil erwies (Kutas & Federmeier, 2011), ermittelten Kutas & Iragui (1998) für die N400-Amplitude eine Reihe von Einflussfaktoren. Höhere N400-Amplituden werden ausgelöst durch (1) leichter vorhersagbare Wörter im Vergleich zu schwerer vorhersagbaren Wörtern, (2) Wörter offener Kategorien im Vergleich zu Wörtern geschlossener Kategorien, (3) hoch-frequente Wörter im Vergleich zu gering-frequenten Wörtern, (4) Wörter zum Satzbeginn im Vergleich zu Wörtern am Satzende, (5) Wörter, die erstmals im Verlaufe des Experiments auftreten im Vergleich zu bereits wiederholt dargebotenen Wörtern, (6) Wörter, denen semantisch unrelatierte Wörter vorausgehen im Vergleich zu solchen, denen semantisch oder assoziativ relatierte Wörter vorausgehen, (7) reale Wörter und Pseudowörter im Vergleich zu Nicht-Wörtern. Bei sprachlichem Material lässt sich die N400 auch außerhalb eines bestimmten semantischen Kontextes durch die meisten Faktoren beeinflussen, die für die allgemeine Schnelligkeit der Spracherkennung relevant sind.

Mit zunehmendem Lebensalter konnte oftmals eine Amplitudenreduktion und eine Latenzverzögerung der N400-Komponente beobachtet werden (z. B. Harbin, Marsh & Harvey, 1984; King & Kutas, 1995). Kutas & Iragui (1998) untersuchten normale altersbedingte Veränderungen der N400-Peak-Amplitude sowie der N400-Onset- und Peak-Latenz an 72 Erwachsenen aus sechs Altersdekaden (20-30; 30-40; 40-50; 50-60; 60-70; 70-80). Die regressionsanalytische Betrachtung ergab eine lineare Abnahme der N400-Amplitude von etwa 0.05-0.09  $\mu\text{V}/\text{Jahr}$  sowie eine Zunahme der Peak-Latenz um etwa 1.5-2.1 ms/ Jahr.

Die Onset-Latenz der N400 zeigte ebenfalls eine signifikante Zunahme mit höherem Lebensalter (20-30: 236 ms; 30-40: 245 ms; 40-50: 254 ms; 50-60: 267 ms; 60-70: 284 ms; 70-80: 324 ms). Diese Veränderungen könnten sowohl mit diversen physiologischen Alterungsprozessen des Gehirns als auch mit psychologischen Mechanismen, wie beispielsweise dem sog. „fan-effect“ („Je mehr Wissen zu einem Sachverhalt verfügbar ist, desto länger dauert der Wissensabruf“) im Zusammenhang stehen (Kutas & Iragui, 1998).

Im Rahmen von Dual-task-Experimenten wurde die N400 von der Gruppe um Sommer und Hohlfeld (2008) untersucht. Mit zunehmender zeitlicher Aufgabenüberlappung konnte eine Verzögerung der N400-Peak-Latenz festgestellt werden, die umso ausgeprägter war, je schwieriger die Zweitaufgabe konzipiert wurde. Die Ergebnisse geben Hinweise darauf, dass der N400-Komponente Prozesse zentraler Verarbeitung zugrunde liegen, die im kognitiven System nicht mit jedem parallelen Prozess zeitgleich zu vereinbaren sind.

### 1.5.2 Error-related negativity (ERN) und Error positivity (Pe)

Zwei unabhängige Forschergruppen entdeckten zu Beginn der 90-er Jahre eine negative Komponente des EEG mit frontozentraler Topographie, die in Wahlreaktionsaufgaben 50-100 ms nach fehlerhaften Reaktionen auftrat und die sie als „error negativity“ (Ne; Falkenstein et al., 1991) bzw. „error-related negativity“ (ERN; Gehring et al., 1993) bezeichneten. Gefolgt wird die ERN von einer parietookzipitalen Positivierung („error positivity“, Pe), etwa 200-500 ms nach einem Fehler (Falkenstein et al., 2000). Da beide Komponenten unter vergleichbaren Bedingungen unterschiedlich variieren, ist davon auszugehen, dass es sich um zwei unabhängige, aufeinander folgende Stufen der Fehlerverarbeitung handelt, die unterschiedliche Aspekte des Performancemonitoring abbilden (Falkenstein et al., 2000; Herrmann, Römmler, Ehlis, Heidrich & Fallgatter, 2004; Hewig, Coles, Trippe, Hecht & Miltner, 2011; Nieuwenhuis, Ridderinkhof, Blom, Band & Kok, 2001; Steinhauser & Yeung, 2010).

Die ERN kann als eine vorbewusste Voraussetzung für die bewusste Fehlerwahrnehmung (Pe) betrachtet werden. Coles, Scheffers und Holroyd (2001) gehen davon aus, dass das ihr Auftreten an den Prozess der Fehlerdetektion gebunden ist (Fehlerdetektionshypothese). Die Generierung der ERN wird von Falkenstein (2000) im Verlaufe eines Vergleichsprozesses zwischen einer erfolgten Reaktion und der korrekten Antwortpräsentation vermutet (Mismatch-Hypothese, nach Coles et al., 2001; Scheffers & Coles, 2000; Falkenstein et al., 2000). Eine weitere Hypothese betont durch fehlerhafte Handlungen angestoßene Lernprozesse im Zusammenhang mit der Aktivierung des mesenzephalen dopaminergen Systems und der Beobachtung der ERN im ACC (anteriorer cingulärer Cortex). Es wird angenommen, dass dieses Signal des dopaminergen Systems die Aufgabe hat, den ACC so vorzubereiten, dass korrektes Verhalten künftig unterstützt und fehlerhafte Handlungen vermieden werden (Dopaminhypothese, Holroyd & Coles, 2002). Die funktionale Bedeutung der Pe wurde bisher weniger intensiv erforscht (Nieuwenhuis et al., 2001). Falkenstein et al. (2000) sowie Van Veen & Carter (2002) sehen die Funktion der Pe in der affektiven Fehlerverarbeitung. Meist wird jedoch die Pe im Zusammenhang mit der Anpassung einer Antwortstrategie nach der bewussten Erkennung eines Fehlers gesehen oder direkt mit der Bewusstwerdung des Fehlers gleichgesetzt (Larson, Baldwin, Good & Fair, 2010; Nieuwenhuis et al., 2001).

Die Pe scheint modalitätsunspezifisch aufzutreten (Falkenstein et al., 2000). Bei hohen Fehlerraten ist eine Amplitudenreduktion der Pe zu beobachten, während sich die ERN-Amplitude in einigen Untersuchungen von der Fehlerrate des Probanden als eher gering beeinflusst zeigte (Falkenstein et al., 2000; Mathewson, Dywan & Segalowitz, 2005).

Auch die ERN kann durch Fehler in verschiedenen Antwortmodalitäten ausgelöst werden: Hand- und Fußbewegungen (Holroyd, Dien & Coles, 1998), verbale Antworten (Masaki, Tanaka, Takasawa & Yamazaki, 2001), Augenbewegungen (Nieuwenhuis et al., 2001), aber auch durch Feedbackinformationen über verschiedene Modalitäten (visuell, auditiv und somatosensorisch, Miltner, Braun & Coles, 1997). Während unter Zeitdruck die Amplitude der ERN kleiner ausfällt, verändert sich die Pe-Amplitude in der Regel nicht (Falkenstein et al., 2000; Gehring et al., 1993). Höhere ERN-Amplituden ließen sich in Experimenten mit Betonung der Antwortgenauigkeit feststellen. Auch variiert die ERN-Amplitude in Abhängigkeit von der Bedeutung des Fehlers, sodass relevantere und größere Fehlhandlungen mit höheren ERN-Amplituden assoziiert sind (Falkenstein et al., 2000).

Mit zunehmendem Lebensalter konnten nicht nur Unterschiede in Fehlerraten und Reaktionszeiten beschrieben werden (Abschnitt 1.3), sondern auch Amplitudenreduktionen beider fehlerassoziierter EKP-Komponenten (Band & Kok, 2000; Endrass, Schreiber & Kathmann, 2012; Falkenstein et al., 2000; Hoffmann & Falkenstein, 2011; Mathewson et al., 2005). Da Fehlermonitoringprozesse selten unter Multitaskingbedingungen untersucht wurden (Tanaka, Mochizuki, Masaki, Takasawa & Yamazaki, 2005; Willoughby & Swick, 2007), können keine generalisierbaren Aussagen darüber getroffen werden, ob und in welche Richtung sich die Amplituden und Latenzen der fehlerbezogenen EKP-Komponenten im Vergleich zur Einfachaufgabensituation verändern, was die Relevanz der aktuell aufgeworfenen Fragestellung unterstreicht.

### 1.5.3 Post-error slowing (PES)

In den 60-er Jahren stellte Rabbitt (1966, 1977) in Reaktionszeitexperimenten fest, dass die einer fehlerhaften Antwort vorausgehenden Reaktionen durchschnittlich schneller abgegeben werden und insbesondere die Fehler selbst häufig deutlich kürzere Reaktionszeiten aufweisen als korrekte Antworten (nach Rabbitt & Rodgers, 1977). Neben dieser Entdeckung konnte ein weiteres interessantes Phänomen beobachtet werden, was Rabbitt als das sog. Post error slowing bezeichnete: Die einem Handlungsfehler nachfolgende richtige Reaktion wird um  $\geq 300$  ms langsamer abgegeben als Antworten, die einer korrekten Reaktion folgen. Für Rabbitt & Rodgers (1977) ist PES der Ausdruck einer strategischen Verhaltensanpassung an die zugleich geforderte maximale Genauigkeit und Schnelligkeit während der Aufgabebearbeitung. Die Reaktionsgeschwindigkeit wird bei sukzessiv korrekt beantworteten Aufgaben gesteigert, solange eine fehlerfreie Ausführung gelingt. Kommt es zu einem Fehler, folgt eine Reaktionszeitadjustierung zur Optimierung der Antwortgenauigkeit. PES reflektiert somit eine fehlerinduzierte Zunahme der Reaktionsgenauigkeit durch vorsichtigeres Antwortverhalten und ist als ein Mechanismus adaptiver Verhaltenskontrolle zu betrachten, mit dem Ziel die ablaufenden Informationsverarbeitungsprozesse und Verhaltensschritte an aktuelle Erfordernisse und Zielsetzungen anzupassen.

Dutilh und Kollegen (2012b) untersuchten einige weitere Erklärungsansätze für die beschriebene Reaktionszeitzunahme nach Fehlhandlungen, wie beispielsweise eine fehlerinduzierte Aufmerksamkeitszerstreuung oder Verlangsamung aufgrund aufgabenirrelevanter Prozesse (z. B. Enttäuschung überwinden) (Dutilh, Vandekerckhove, Forstmann, Keuleers, Brysbaert & Wagenmakers, 2012). Eine eindeutige Unterstützung fand der bereits ausgeführte Erklärungsansatz durch Prozesse der Selbstregulation und kognitiver Kontrolle. Menschen verändern ihre Reaktionsschwelle adaptiv, indem sie nach korrekten Antworten gewagter und nach fehlerhaften Reaktionen vorsichtiger reagieren, um vermutlich mehr Kriterien in die Entscheidungsfindung einzubeziehen (Dutilh et al., 2012a). Dadurch kann das gewünschte Verhältnis zwischen Schnelligkeit und Genauigkeit optimiert und das aktuelle Verhalten an die momentanen Erfordernisse angepasst werden (Dudschig & Jentsch, 2009). Studien bestätigen den Zusammenhang zwischen PES und anderen fehlerassozierten Parametern durch gefundene Assoziationen zwischen der ERN, der Pe sowie deren neuronalen Generatoren und dem PES (Danielmeier, Eichele, Forstmann, Tittgemeyer & Ullsperger, 2011; Danielmeier & Ullsperger, 2011; Debener, Ullsperger, Siegel, Fiehler, von Cramon & Engel, 2005; Hajcak, McDonald & Simons, 2003; Li, Huang, Constable & Sinha, 2006; Wessel, 2011). Die genauen Zusammenhänge

dieser drei Mechanismen der Fehlerüberwachung sind weiter zu erforschen. Altersvergleichende Untersuchungen fanden für Ältere ein ausgeprägtes PES als für jüngere Probanden (Band & Kok, 2000; Dutilh et al., 2012a). So scheinen ältere Personen nach Fehlern ihre Reaktionsschwelle stärker zu erhöhen und vorsichtiger zu antworten als dies jüngere Probanden tun (vgl. Abschnitt 1.3).

## 1.6 Designentwicklung und Hypothesen

Das vorliegende Experiment hat zum Ziel, die Doppelaufgabeninterferenz während einer kapazitätsbeanspruchenden lexikalen Entscheidung (vgl. Sommer & Hohlfeld, 2008) und dem zeitgleich ablaufenden kontrollierten Prozess des Fehlermonitorings (Hirsh & Inzlicht, 2010; Hochman & Meiran, 2005; Schreiber, Pietschmann, Kathmann & Endrass, 2011; Wessel, 2011) zu untersuchen. Die aus praktischer Sicht relevanten, jedoch außerhalb des Erklärungsbereichs gängiger Filtermodelle (Abschnitt 1.1.1) liegenden Untersuchungen zu möglichen Beeinträchtigungen des Fehlermonitorings in Multitaskingsituationen, sind recht selten und kommen zu keinem einheitlichen Ergebnis (Tanaka, Mochizuki, Masaki, Takasawa & Yamazaki, 2005; Willoughby & Swick, 2007). Wenn man davon ausgeht, dass Reaktionsauswahlprozesse (vgl. Abbildung 1.1) nur einen von mehreren zentralen Prozessen darstellen (darunter mentale Rotation, Kurzzeitkonsolidierung, Abruf aus dem Langzeitgedächtnis u. a.), die bei gleichzeitiger Ausführung eines weiteren kapazitätslimitierten Prozesses Interferenzen zeigen (Borst, Taatgen & Van Rijn, 2010; Hochman & Meiran, 2005; Pannebakker et al., 2011; Van Selst & Jolicoeur, 1997), wäre es denkbar, dass auch der Fehlermonitoringprozess einer Flaschenhalbsverarbeitung unterliegt (Abschnitt 1.5.2). Die Herausforderung einer solchen Fragestellung besteht darin, dass der Fehlerentdeckungsprozess den von Sternberg (1969) postulierten Informationsverarbeitungsstufen nachgelagert ist und somit schwer allein mittels Verhaltensdaten zu beurteilen ist. Diesem Umstand wurde mit einer zusätzlichen Ableitung des Elektroenzephalogramms und anschließendem Extrahieren relevanter Komponenten der EKP begegnet, welche die interessierenden Prozesse direkt zu repräsentieren vermögen.

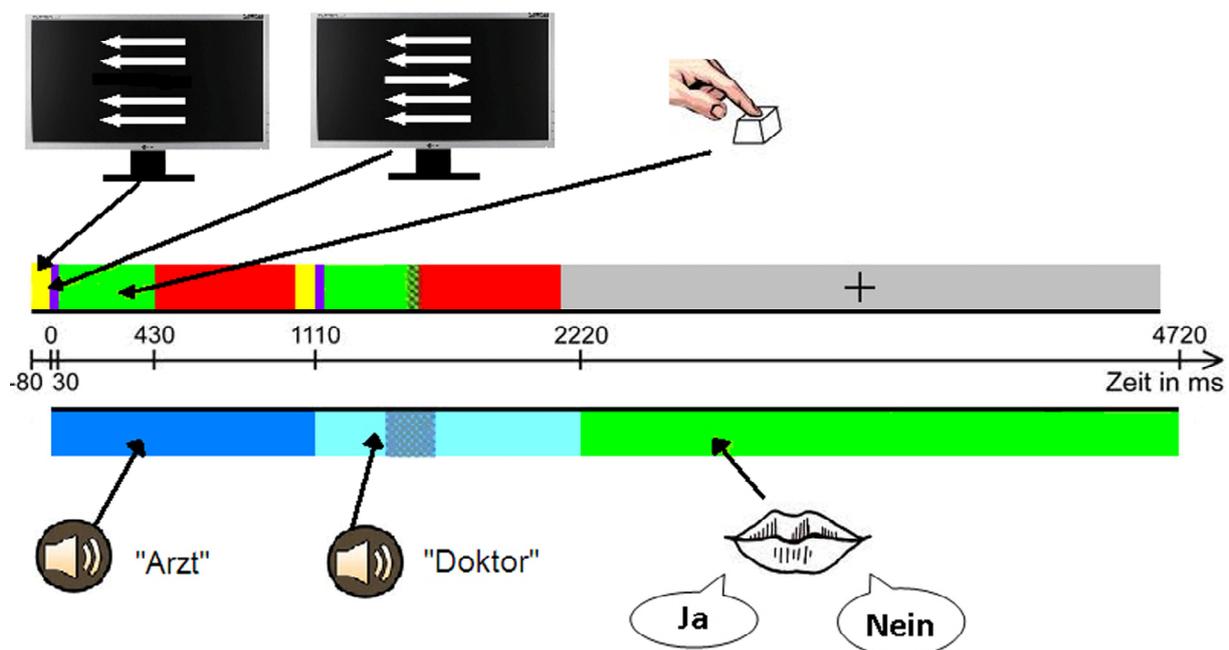
Aus praktischem Interesse wurden zusätzlich zur Betrachtung des Fehlermonitoringprozesses zwei ebenfalls mit der Fehlerverarbeitung assoziierte Parameter (Pe und PES) erhoben und auf Veränderungen unter Multitaskingbedingungen untersucht.

Als simultan zu bearbeitende Anforderung setzten wir die, in einer Serie von Dual-Task-Studien (Hohlfeld, Mierke & Sommer, 2004a; Hohlfeld et al., 2004b; Hohlfeld & Sommer, 2005) erprobte Aufgabe zum semantischen Vergleich ein, die sich als geeignet erwies, eine weitere, ebenfalls einem als kontrolliert postulierten Prozess (z. B. Hill, Strube, Roesch-Ely & Weisbrod, 2002; Sommer & Hohlfeld, 2008) zugrunde liegende Komponente der EKP, die N400, auszulösen (vgl. Abschnitt 1.5.1).

Vor dem arbeitspsychologischen Hintergrund unserer Studie war es wichtig, die Multitaskingsituation so zu gestalten, dass realitätsnahe Modalitäten genutzt werden, die auch in der modernen, von der Bildschirmarbeit geprägten Arbeitswelt gefordert sind. So wurden zur Beurteilung der Fehlerüberwachungsprozesse die während der Computerarbeit benutzten Modalitäten (visuell und manuell) in einer modifizierten Eriksen-Flanker-Aufgabe (Abschnitt 2.2.2) miteinander verbunden. Die oftmals diese Arbeit begleitenden akustischen Unterbrechungen durch Telefonate oder direkte Ansprachen, die eine verbale Reaktion erfordern, wurden mit einer Entscheidungsleis-



gleicher Priorität zu bearbeiten. Aufgrund der deutlich kürzeren visuell-manuellen Anforderung und eines über die Bildschirmrandfarbe signalisierten Feedbacks bezüglich der Einhaltung einer hohen Bearbeitungsgeschwindigkeit, ist ein Reaktionsgruppierungseffekt nicht zu erwarten. Zum Angleichen des Vorbereitungsaufwandes und zur Schaffung eines vergleichbaren Aktivierungsniveaus während der Einzel- bzw. Doppelaufgabenbearbeitung, erfolgte eine „Zwischenschaltung“ der Trials beider Einzelaufgaben unter die Doppelaufgabentrials. Eine ausreichende Reiz-Reaktions-Kompatibilität ist durch die räumliche Entsprechung der Tasten mit der Targetpfeilrichtung gegeben. Aufgrund der Abschwächung der N400-Amplitude bei wiederkehrenden Darbietungen konnte das Stimulusmaterial nur ein Mal wiederholt werden, sodass offen bleibt, welche Ergebnisse unter exzessiver Übung zu erwarten wären. Anzumerken ist, dass zur Erzeugung einer höheren Fehlerquote die flankierenden Pfeile der Flankeraufgabe dem reaktionsrelevanten Targetpfeil 80 ms vorausgehen, wodurch ein stärkerer Primingeffekt erwartet wird.



**Abb. 1.4** Chronometrische Darstellung des Versuchsablaufs. Oberhalb der Zeitachse ist schematisch die Flankeraufgabe dargestellt (gelb = flankierende Pfeile; violett = Targetpfeil; grün = erwünschtes Antwortfenster; rot = als zu langsam geltende Antworten; grau = Fixationskreuz; Schraffur = hypothetisch angenommenes Maximum der ERN), unterhalb der Zeitachse die Wortvergleichsaufgabe (blau = Primewort; hellblau = Targetwort; grün = Antwortfenster; Schraffur = hypothetisch angenommenes Maximum der N400-Komponente).

Vor dem Hintergrund bisheriger Ausführungen ergeben sich drei Haupthypothesen:

1. Mit zunehmender Beanspruchung durch die Mehrfachanforderung kommt es im Vergleich zur Einzelaufgabensituation zu einer Aufgabeninterferenz, die sich unter der Bedingung nicht synonymen Targetwörter (N400) mit zeitgleich begangenen Fehler in der Flankeraufgabe (ERN) maximiert. Die Interferenzeffekte sollten sich in veränderten Reaktionszeiten, Fehlerraten, Amplituden und Latenzen entsprechender Komponenten der EKP (ERN bzw. N400) niederschlagen.

2. Infolge abnehmender kognitiver Ressourcen mit zunehmendem Lebensalter und der Notwendigkeit verstärkter Ressourceninvestition in die Aufgabenbearbeitung, gehen wir bei Multitasking von einer stärker ausgeprägten Beeinträchtigung bewusster Fehlerverarbeitung (Reduktion der Pe-Amplitude) für die ältere Probandengruppe im Vergleich zu den jüngeren Probanden aus.
3. In Einfachaufgaben wird für die ältere Probandengruppe aufgrund der stärker genauigkeitsorientierten Bearbeitungsstrategie ein höheres Post-error slowing als für die jüngeren Probanden erwartet. Beim Multitasking müsste jedoch aufgrund der knapperen zur Verfügung stehenden Ressourcen eine ausgeprägtere Reduktion des PES im Vergleich zu der jüngeren Probandengruppe zu beobachten sein.

## 2 Methoden

### 2.1 Stichprobe

An der Untersuchung nahmen insgesamt 47 deutschsprachige Probanden zweier Altersgruppen teil (23 20- bis 35-Jährige und 24 50- bis 65-Jährige), die über persönliche Kontakte, Aushänge an der Humboldt Universität zu Berlin, eine Anzeige im Internet und aus dem Versuchspersonenpool der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA, Standort Berlin) rekrutiert wurden. Die vollständige Auflistung der Einschlusskriterien befindet sich im Anhang 1.

Nach einer Auswahl der Versuchspersonen aufgrund von Aufzeichnungsartefakten im EEG oder mangelnder Anzahl untersuchungsrelevanter Reaktionen (Fehlhandlungen), blieben in der Gruppe der jüngeren Erwachsenen 12 männliche und 9 weibliche Probanden (Durchschnittsalter = 27 Jahre; SD = 4,8). Die Gruppe der älteren Erwachsenen bildeten 20 Probanden, von denen 11 weiblichen Geschlechts waren (Durchschnittsalter = 57,5 Jahre; SD = 4,9).

Die Händigkeit der Versuchspersonen wurde mittels Edinburgh Inventory of Handedness (Oldfield, 1971) ermittelt. Ein Proband war Linkshänder (LQ = 26,34), die übrigen Rechtshänder (mittlerer LQ = 92,55). Angaben zur derzeitigen beruflichen Situation der Probanden sind dem Anhang 2 zu entnehmen.

Für ihre Teilnahme wurde eine Aufwandsentschädigung von 10 Euro pro Stunde gezahlt.

### 2.2 Materialien und Apparatur

#### 2.2.1 Psychophysiologische Registrierung

Die Ableitung des Elektroenzephalogramms fand in einem elektrisch abgeschirmten, schallgedämmten, klimatisierten psychophysiologischen Untersuchungsraum (BAuA, Berlin) statt, der über eine Videoüberwachung und Gegensprechanlage verfügte. Vor dem Stuhl des Probanden stand ein Tisch mit einem 19 Zoll CRT-Monitor, einer Tastatur (8 cm x 16 cm) mit zwei horizontal angeordneten Tasten (1,5 cm x 1,5 cm, Tastenabstand 10 cm), zwei Lautsprechern (rechts bzw. links von dem Monitor) und einem auf den Probanden ausgerichteten Standmikrofon. Auf der rechten Seite des Arbeitstisches befand sich ein Laptop, auf welchem die Software BrainVision Recorder 1.10 (Brain Products) zur Kontrolle der Elektrodenübergangswiderstände installiert war. Die zwei 32-Kanal BrainAmp DC-Verstärker (Brain Products) wurden an einem Stativ direkt hinter dem Stuhl der Testperson befestigt. Die Technik zur Versuchssteuerung und Datenaufzeichnung befand sich in dem separaten Steuerraum. Ein eigens konstruierter Schwellendetektor erfasste das akustische Signal der verbalen Probandenantwort (Ja/Nein) und diente zur Bestimmung der Antwortlatenzen. Die automatische Registrierung der Ja/Nein – Antworten wurde über Dragon NaturallySpeaking 10.0 (Nuance Communications) realisiert. Korrekturen konnten manuell per Mausklick vorgenommen werden. Die Aufzeichnung und Speicherung der EEG-Rohdaten erfolgte über den BrainVision Recorder. Zur Auswertung der EEG-Rohdaten wurden MATLAB 7.3 (R2006b) (MathWorks)) und EEGLAB 7.2.8.18 (SCCN) verwendet. Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit SPSS 15.0 (SPSS). Zur Versuchssteuerung und Speicherung der Verhaltensdaten (Reaktions-

zeiten, Fehleranzahl) diente das Programm Presentation 13.0 (Neurobehavioral Systems).

Die bioelektrische Hirnaktivität wurde, entsprechend des Kopfumfanges des Probanden mit einer der beiden 64-Channel Fast'nEasy BrainCap (Grösse 56 bzw. 58; Brain Products GmbH, 2009) innerhalb eines jeden Untersuchungsblocks kontinuierlich abgeleitet. Die adapterlos, in die Polypropylenkappe direkt eingepassten, gesinterten Ag/AgCl – Elektroden wurden mittels einer Connectorbox (Sammelstecker) mit einem Flachbandkabel an die beiden 32-Kanal BrainAmp-Verstärker angeschlossen. Zur Registrierung vertikaler Augenbewegungs- und Lidschlagartefakte diente eine unter dem rechten Auge angebrachte VEOG-Elektrode, die ebenfalls fest in den Strang der Elektrodenkabel eingebunden war. Alle Ableitungen erfolgten mit einer Referenz zur FCz-Elektrode. Als Erdung diente die AFz-Elektrode. Die Abtastrate betrug 250 Hz. Zur Elektrodenpräparation wurde eine abrasive Hautreinigungsemulsion (Everi, GVB-geliMED), ein Cutasept-I-Hautdesinfektionsmittel sowie ein leitendes Elektrodengel (NEURGEL, GVB-geliMED) verwendet.

### 2.2.2 Visuell-motorische Aufgabe

Die visuell-motorische Anforderung des Experimentes stellte eine Eriksen-Flanker-Aufgabe dar, in einer für den aktuellen Versuch modifizierten Form der Version von Danielmeier, Wessel, Steinhauser und Ullsperger (2009). Die Stimuli in Form von fünf vertikal angeordneten Pfeilen (Pfeillänge: 18 mm, Sehwinkel  $1,5^\circ$ ); Pfeilabstand: je ca. 13, 75 mm) wurden in weiß vor schwarzem Hintergrund eines 19 Zoll Computerbildschirms in ca. 70 cm Entfernung zum Probanden präsentiert. Die Versuchspersonen wurden instruiert, möglichst schnell und richtig, auf den, nach rechts oder links zeigenden, mittleren Pfeil zu reagieren. Je nach Richtung der Pfeilspitze sollte die räumlich korrespondierende von zwei Tasten gedrückt werden. Zu unterscheiden waren:

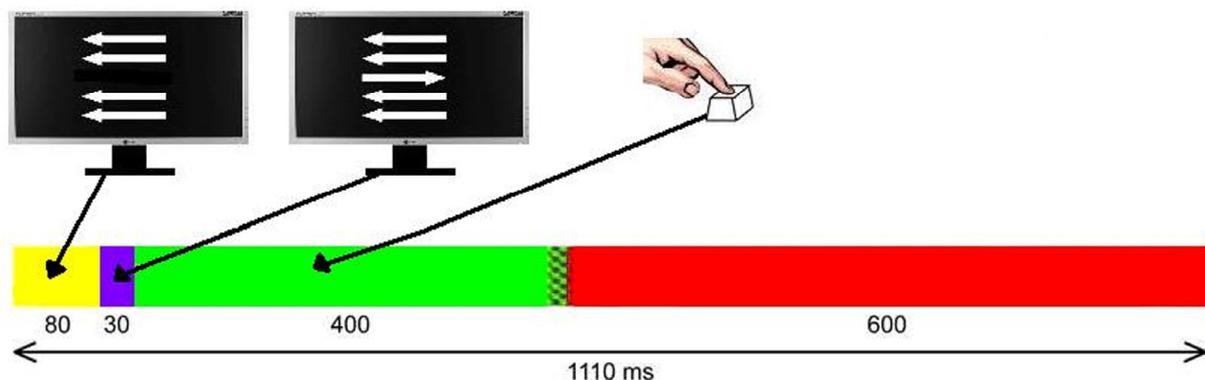
- (a) kongruente Trials (zentraler Pfeil und flankierende Pfeile zeigen in dieselbe Richtung)
- (b) inkongruente Trials (zentraler Pfeil und flankierende Pfeile zeigen in unterschiedliche Richtungen)

Insgesamt ergaben sich daraus vier mögliche Konfigurationen der Pfeilanordnung, deren Auftrittswahrscheinlichkeit bei 0.25 lag. Die Multitaskinggesamtanforderung beinhaltete  $240 \times 2$  (d. h. 480) Flankertrials ohne gleichzeitige Wortdarbietung sowie zusätzliche  $240 \times 2$  Flankertrials bei gleichzeitiger Wortdarbietung. Die Reihenfolge der Präsentation wurde pseudorandomisiert, mit der Einschränkung, dass nicht mehr als zwei gleiche Flankertrials aufeinander folgten (Vermeidung von Reihenfolgeeffekten). Zur Vermeidung von Augenbewegungsartefakten im EEG wurde in Trails ohne Flankeranforderung in der Mitte des Bildschirms ein weißes Fixationskreuz (2,8 cm x 2,8 cm) eingeblendet (vgl. 1.3).

Ein, seine Farbe wechselnder, schmaler Rahmen entlang des äußeren Bildschirmrandes diente als Feedback über die geforderte Reaktionsgeschwindigkeit (grün = angemessen vs. rot = zu langsam), die der Proband während der Aufgabenbearbeitung einhalten sollte. Der Farbwechsel des Rahmens ergab sich aus zwei Größen:

- (a) Geschwindigkeit des Tastendrucks
- (b) bisherige Fehlerrate

Erfolgte die motorische Reaktion auf den mittleren Pfeil in zehn aufeinander folgenden Trials wenigstens ein Mal zu langsam ( $> 400$  ms) und/oder betrug die bisherige Fehlerquote weniger als 20 %, färbte sich der Bildschirmrahmen rot und motivierte den Probanden zum schnelleren Reagieren. Bei angemessener Antwortgeschwindigkeit ( $< 400$  ms) in zehn aufeinander folgenden Trials und einer bisherigen Fehlerquote von über 20 % blieb die Rahmenfarbe grün. Während jeder Erholungspause erschien auf dem Bildschirm eine schriftliche Rückmeldung über die Prozentzahl richtiger Antworten („Sie hatten ...% richtige Tastendrücke“) sowie eine Information zur Reaktionsgeschwindigkeit („Bitte schneller drücken!“ vs. „Die Geschwindigkeit ist richtig!“). Außerhalb des Gesamtantwortfensters registrierte Reaktionen ( $> 1000$  ms) sowie wiederholte Tastendrücke in demselben Trial (Korrekturen) wurden nicht in die weitere Auswertung eingeschlossen. Die zeitliche Abfolge der Stimuli ist in Abbildung 2.1 dargestellt.

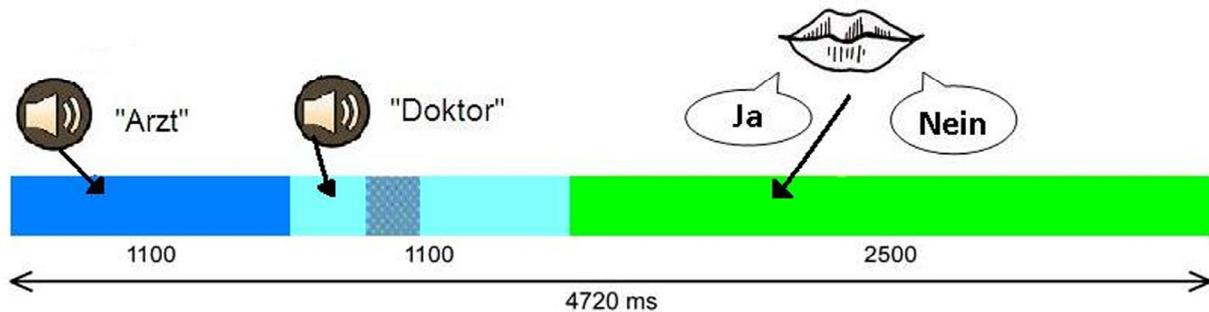


**Abb. 2.1** Schematische Darstellung der zeitlichen Reizabfolge in einem Flankertrial (gelb = flankierende Pfeile; violett = Targetpfeil; grün = erwünschtes Antwortfenster; rot = als zu langsam geltende Antworten; Schraffur = hypothetisch angenommenes Maximum der ERN).

### 2.2.3 Auditiv-verbale Aufgabe

Das auditive Stimulusmaterial wurde von Hohlfeld et al. (2004b) übernommen. Unter Zuhilfenahme des Dudens „Die Sinn- und Sachverwandten Wörter. Das Synonymwörterbuch.“ (Müller, 1997) erstellte die benannte Arbeitsgruppe 120 Synonympaare (siehe Anhang 3). Verwendet wurden ausschließlich Substantive, wobei das jeweils zweite Wort des Paares (Target) hinsichtlich seiner Silbenanzahl (1-4;  $M = 2$ ;  $SE = 0.07$ ) und logarithmischer Frequenz (0-2;  $M = 1$ ;  $SE = 0.52$ ) kontrolliert wurde. Durch verschiedene Kombinationen der zu Synonympaaren zusammengesetzter Wörter wurden 120 Nicht-Synonympaare generiert, sodass insgesamt 240 verschiedene Wortpaare zur Verfügung standen. Die mittleren Frequenzen sowie Silbenanzahl blieben durch die Art der Nicht-Synonympaargenerierung erhalten. Die Wörter wurden von einer weiblichen Stimme deutscher Muttersprache gesprochen und mit einer Abtastrate von 44 kHz aufgezeichnet (Hohlfeld et al., 2004b). Die Darbietung der Wortpaare erfolgte binaural mittels Lautsprecher. Im Falle eines Synonympaars sollte der Proband so schnell wie möglich verbal mit „Ja“, im Falle eines Nicht-Synonympaars mit „Nein“ antworten. Im Rahmen der, für die aktuelle Arbeit relevanten Multitaskinganforderung wurde das gesamte Set von 240 Wortpaaren in identischer Reihenfolge zwei Mal wiederholt. Davon entfielen 17 x 2 Wortpaare auf die

Singletaskbedingung. Die zeitliche Darbietungsfolge eines beispielhaften Wortpaares ist der Abbildung 2.2 zu entnehmen



**Abb. 2.2** Schematische Darstellung der Wortpaardarbietung in zeitlicher Abfolge (blau = Primewort; hellblau = Targetwort; grün = Antwortfenster; Schraffur = hypothetisch angenommenes Maximum der N400-Komponente).

### 2.2.4 Übungsblock

Vor Beginn des Hauptversuchs wurde ein aus drei Untereinheiten bestehender Übungsblock vorangestellt. Zunächst wurden die Ausführung der Aufgabe zum semantischen Wortvergleich sowie die Flankeraufgabe einzeln geübt. Anschließend folgte eine kurze Übungseinheit zur simultanen Bearbeitung beider Einzelaufgaben. Die auditiv-verbale Übung umfasste 11 gesondert aufgenommene Wortpaare. Die Flankeraufgabe bestand aus 39 zufällig ausgewählten Flankertrials. Zur Konstruktion der Multitaskingübung wurden die beiden vorangegangenen Einheiten kombiniert.

### 2.2.5 Multitaskinggesamtanforderung

Durch die Kombination beider Einzelaufgaben wurden 12 Bedingungen gebildet, in denen das Targetwort simultan mit einem Flankertrial dargeboten wird (Tabelle 2.1, Multitaskingbedingungen 1-12). Dabei wurde die Ausprägung von drei Variablen variiert:

- (1) Ausrichtung des Targetpfeils in der Flankeraufgabe (rechts vs. links)
- (2) Kongruenz der Flankeraufgabe (kongruent vs. inkongruent)
- (3) Synonymität der Wortpaare (synonym vs. nicht synonym)

In der nachfolgenden Datenauswertung wurde die Kongruenz der Flankeraufgabe (zusammenfassende Betrachtung der Bedingungen 1-6 sowie 7-12), jedoch nicht die Targetpfeilrichtung berücksichtigt.

Die Zuteilung der Wortpaare zu den einzelnen Flankerstimulivariationen erfolgte pseudorandomisiert mit jeweils ca. 17 Wortpaaren pro Bedingung. Ergänzend wurde das alleinige Auftreten beider Einzelaufgaben aufgenommen (Tabelle 2.1, Singletaskbedingungen 13 und 14). Hierbei verteilte man die Gesamtanzahl an Flankertrials (480 Trials) aus den Multitaskingbedingungen in pseudorandomisierter Abfolge zwischen den Trials mit simultan zu bearbeitenden Aufgaben (jedoch maximal drei Flankertrials in Folge). Die Anzahl der zwischengeschalteten einzelnen Wortpaare betrug 17 Darbietungen.

**Tab. 2.1** Stimulusvariationen innerhalb der Multitaskinggesamtanforderung. Die jeweils erste Spaltenhälfte steht für Stimuluseigenschaften der Flankeraufgabe, welche zeitgleich zum Primewort des Wortpaares dargeboten werden. Die zweite Spaltenhälfte zeigt die simultan zum Targetwort auftretenden Eigenschaften der Flankeraufgabe. Für die Targetpfeilrichtung gilt: 1 = rechts, 2 = links; für die Kongruenz: 1 = kongruent, 2 = inkongruent; für die Synonymität: 1 = synonym, 2 = nicht synonym; 0 = kein Ereignis; var = 1 und 2 zu gleichem Anteil vorkommend. Die dichotomen Merkmalsausprägungen der variierten Größen haben jeweils eine Auftrittswahrscheinlichkeit von 0.5.

Bedingung	Pfeilrichtung	Kongruenz	Synonymität
1	0   var	0   1	1
2	var   1	var   1	1
3	var   2	var   1	1
4	0   var	0   1	2
5	var   1	var   1	2
6	var   2	var   1	2
7	0   var	0   2	1
8	var   1	var   2	1
9	var   2	var   2	1
10	0   var	0   2	2
11	var   1	var   2	2
12	var   2	var   2	2
13	nur Flankertrials		
14	nur Wortpaare		

Die aus insgesamt 826 Trials bestehende Multitaskinggesamtanforderung bearbeiteten die Probanden zwei Mal in identischer Reihenfolge, getrennt durch eine ca. 10-minütige Pause. In jedem Block wurde die Aufgabenbearbeitung durch drei weitere kürzere Pausen unterbrochen.

Zusätzlich verwendetes Fragebogenmaterial (Fragebogen zum aktuellen Zustand, Edinburgh-Handedness-Inventory (Oldfield, 1971), Multimedia Use Questionnaire (Ophir, Nass & Wagner, 2009, übersetzte Version), Fragebogen zur Einschätzung der Untersuchung) befindet sich im Anhang (Anhang 4 bis 7).

## 2.3 Versuchsdurchführung

Von den rekrutierten Probanden (siehe Anzeige, Anhang 8) wurden telefonisch oder per Email, die im Anhang 1 zusammengefassten Einschlusskriterien erfragt und bei Eignung ein Untersuchungstermin vereinbart.

Die Datenerhebung erfolgte im Zeitraum zwischen dem 26. August 2009 und dem 3. Februar 2010 jeweils wochentags um 8:00 beziehungsweise 12:00 im psychophysiologischen Untersuchungsraum der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA, Standort Berlin, Arbeitsgruppe 3.4. „Mentale Gesundheit und kognitive Leistungsfähigkeit“).

Nach kurzer Unterweisung über den Versuchsablauf und dem Unterzeichnen der Einverständniserklärung (Anhang 9) bearbeiteten die Probanden neun Fragen zum aktuellen (gesundheitlichen) Zustand (Anhang 4) sowie das Edinburgh Handedness Inventory (Oldfield, 1971). In Vorbereitung auf die experimentelle Untersuchung wurde entsprechend dem Schädelumfang die passende Elektrodenkappe (Fast'nEasy Cap) an den CZ- sowie FPz-Elektrodenpositionen ausgerichtet und mithilfe eines Kinngurtes am Kopf des Probanden befestigt. Während der Elektrodenapplikation bearbeitete der Proband eine eigens erstellte deutsche Übersetzung des Multimedia Use Questionnaire (Ophir et al., 2009).

Nach abschließender Kontrolle der EEG-Signale und der Hautübergangswiderstände, die in aller Regel Impedanzen von  $< 5 \text{ k}\Omega$  (in Einzelfällen  $< 10 \text{ k}\Omega$ ) aufwiesen, bekamen die Probanden eine schriftliche Instruktion zum Versuch ausgehändigt (Anhang 10) und wurden aufgefordert, fehlerhafte Tastendrucke nach Möglichkeit nicht zu korrigieren.

Der Versuchsleiter demonstrierte an einem Laptop die Auswirkungen muskulärer Artefakte auf das EEG-Signal, in dem der Proband den Einfluss des eigenen Zähneknirschens und Blinzeln beobachten konnte. Daraufhin wurde die Versuchsperson gebeten eine bequeme Sitzposition einzunehmen und während der Versuchszeit den Blick auf dem Fixationskreuz in der Mitte des Bildschirms zu belassen. Es folgte die Aufklärung über die Videoübertragung des Untersuchungsgeschehens in einen separaten Raum und das Vorhandensein einer Gegensprechanlage.

Nach dem Dimmen des Lichts verließ der Versuchsleiter den Untersuchungsraum und startete den Übungsblock. Dabei bestand die Möglichkeit die Ausführung des Tastendrucks, die Lautstärke der Ja/Nein-Antworten, die Reaktionsgeschwindigkeit sowie das allgemeine Instruktionsverständnis zu überprüfen und gegebenenfalls zu korrigieren.

Das Hauptexperiment (siehe Abschnitt 2.2.2 bis 2.2.5 zur genauen Beschreibung der Aufgabeninhalte), welches aus der gleichzeitigen und separaten Darbietung der Flankeraufgabe sowie der Aufgabe zum semantischen Wortvergleich bestand, wurde in 2 Blöcke mit jeweils 3 Pausen eingeteilt. Die Unterbrechungen innerhalb der Versuchsblöcke konnten insbesondere zur Motivation des Probanden (entweder persönlich oder über Gegensprechanlage) genutzt werden. Die Pausendauer bestimmte der Proband nach eigenem Ermessen durch Ansage. Nach der Darbietung von insgesamt 240 Wortpaaren in Kombination mit der Flankeraufgabe folgte eine längere Pause von ca. 10 Minuten. Anschließend wurde der gesamte erste Aufgabenblock, zur Sicherung genügender Anzahl relevanter Ereignisse in identischer Weise noch einmal wiederholt.

Zum Schluss bearbeiteten die Probanden in einer balanciert randomisierten Reihenfolge die beiden, nicht in die nachfolgende Datenauswertung eingehenden Einzelaufgaben in verkürzter Form getrennt nacheinander (insgesamt ca. 15 Minuten).

Nach Abschluss des Experiments wurde die Elektrodenkappe abgenommen und der Versuchsperson Zeit gegeben, sich in einem separaten Raum die Haare zu waschen.

Anschließend füllte jeder Proband einen eigens erstellten Fragebogen zur Einschätzung der Untersuchung aus und machte Angaben zur seiner Schul- und Ausbildung sowie der derzeitigen Beschäftigung. Die Gesamtversuchsdauer betrug ca. 3,5 Stunden (davon ca. 1 Stunde EEG-Aufzeichnung).

## 2.4 Datenauswertung

Die Ableitung des EEG-Signals erfolgte gegen die Referenzelektrode FCz. Anschließend wurden offline eine Common Average Reference berechnet und die EEG-Rohdaten hoch- (0.01 Hz) und tiefpassgefiltert (15 Hz). Für die spätere Messung der Peaks folgte eine Umreferenzierung gegen die verbundenen Tp9-Tp10-Elektroden.

Nach der manuellen Elimination singulärer Artefakte (mit EEGLAB 7.2.8.18) wurden die verbliebenen EEG-Segmente auf den Onset der Flankeraufgabe (Epochen von - 500 ms bis 2000 ms) sowie der Einzelwortdarbietung (Epochen von - 200 ms bis 2500 ms) epochiert und einer ICA-Berechnung unterzogen. Aus Artefakten (Augenbewegungen, Lidschlägen, Muskelartefakten) resultierende Independent Components (ICs) wurden eliminiert und die ICA-Lösung (pro Proband zwischen 2 - 10 ICs) zurückprojiziert. Nach einer selektiven Epochierung für die verschiedenen Bedingungen (Flankeraufgabe: von - 800 ms bis 1000 ms nach einem inkorrekten Tastendruck auf inkongruente Flankertrials; Wortvergleichsaufgabe: von - 200 ms bis 2500 ms nach nicht synonymen Targetwörtern) wurde die Baseline bestimmt (Wortvergleichsaufgabe von - 200 ms bis 0 ms; Flankeraufgabe von - 800 ms bis - 500 ms). Zur Bestimmung der ERN und der Pe wurde der Spannungsverlauf an der FCz-Elektrode, der N400-Komponente an der Pz-Elektrode ausgewertet. Zur Bestimmung der Peak-Amplituden der ERN wurde eine „peak-to-peak“-Messung vorgenommen. In die Datenanalyse gingen nur Reaktionen ein, die innerhalb eines festgelegten Zeitfensters abgegeben wurden (vgl. Abbildung 1.4), korrigierte Reaktionen wurden von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen.

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit der Varianzanalyse (ANOVA) für wiederholte Messungen mit dem Innersubjektfaktor „Bedingung“ und dem Zwischensubjektfaktor „Alter“.

Der Anpassung des  $\alpha$ -Fehlers diente die Bonferroni-Methode. Wenn erforderlich, erfolgte die Korrektur der Freiheitsgrade nach Huynh-Feldt.

### 3 Ergebnisse

Die Ergebnisdarstellung beruht auf der Datenauswertung der Multitaskinggesamtanforderung (Tabelle 2.1) von insgesamt 41 Probanden zweier Altersgruppen (20- bis 35-Jährige (Jung): Pbn 103-123; 50- bis 65-Jährige (Alt): Pbn 202-204, 206-221, 223). Tabelle 3.1 gibt einen Überblick über relevante Auswerteparameter für beide Einzelaufgaben. Die nachfolgende Tabelle 3.2 stellt die Versuchsbedingungen dar, unter welchen diese Parameter berechnet wurden.

**Tab. 3.1** Auswerteparameter getrennt für beide Aufgaben.

<b>Aufgabe</b>	<b>Auswerteparameter</b>
Semantischer Wortvergleich	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Antwortlatenz (Ja bzw. Nein)</li> <li>– <i>Korrektheit der Antwort*</i></li> <li>– N400 (Peak-Amplitude, Peak-Latenz)</li> </ul>
Flankeraufgabe	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Reaktionszeit</li> <li>– Fehlerrate</li> <li>– Post-error slowing</li> <li>– ERN (Peak-to-peak Amplitude, Peak-Latenz)</li> <li>– Pe (Peak-Amplitude, Peak-Latenz)</li> </ul>

\*Aus technischen Gründen konnte die Korrektheit der verbalen Antworten nicht erfasst werden.

**Tab. 3.2** Versuchsbedingungen getrennt für beide Aufgaben. Zur Untersuchung des PES wurden hiervon abweichende Bedingungskonstellationen a bis c ausgewertet, siehe Abschnitt 3.1.3

<b>Aufgabe</b>	<b>Versuchsbedingungen</b>
Semantischer Wortvergleich	Nicht synonymes Targetwort: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. allein</li> <li>2. mit kongruenten korrekten Flankertrials</li> <li>3. mit inkongruenten korrekten Flankertrials</li> <li>4. mit inkongruenten inkorrekten Flankertrials</li> </ol>
Flankeraufgabe	Inkongruente inkorrekte Flankertrials: <ol style="list-style-type: none"> <li>I. allein</li> <li>II. mit synonymen Targetwörtern</li> <li>III. mit nicht synonymen Targetwörtern</li> </ol>

## 3.1 Verhaltensdaten

### 3.1.1 Fehlerraten

Die Varianzanalyse für wiederholte Messungen (ANOVA, Innersubjektfaktoren Bedingung und Kongruenz; Zwischensubjektfaktor Alter) ergab für die Flankeraufgabe eine Gesamtfehlerquote von 13,64 % (jung: 14 %; alt: 13,24 %). Erwartungsgemäß zeigten sich für inkongruente Flankertrials im Vergleich zu kongruenten Trials signifikant höhere Fehlerraten ( $F(1) = 232,966$ ;  $p < .001$ ; kongruent: 2,55 % vs. inkongruent: 24,75 %). Der Altersgruppenvergleich ergab mit  $F(1) = 0,069$ ;  $p = .794$  keine statistisch bedeutsamen Differenzen (kongruent: 2,7 % (alt) vs. 2,4 % (jung); inkongruent: 23,8 % (alt) vs. 25,7 % (jung)). Einen signifikanten Effekt zeigte der Hauptfaktor „Bedingung“ (vgl. Tabelle 3.2,  $F(1,9) = 3,624$ ;  $p < .05$ ), wobei sich im paarweisen Vergleich die Mittelwerte der drei Bedingungen (Bedingung I: 12,01 %; Bedingung II: 14 %; Bedingung III: 13,95 %) nicht signifikant voneinander unterschieden.

Bei inkongruenten Flankerstimuli führten reine Flankertrials (Bedingung I) mit  $F(1,878) = 7,923$ ;  $p = .001$  zu signifikant weniger fehlerhaften Reaktionen als Trials mit simultanen Zusatzanforderungen (Bedingungen II und III). Die Fehlerraten auf inkongruente Flankertrials pro Bedingung sind der Tabelle 3.3 zu entnehmen.

**Tab. 3.3** Fehlerprozent für inkongruente Flankertrials pro Bedingung: Inkongruente inkorrekte Flankertrials allein (I), mit synonymen (II) bzw. nicht synonymen (III) Targetwörtern.

Bedingung	Fehlerprozent	Standardfehler
I	21,2	1,35
II	25,41	1,86
III	26,24	2

Es ließ sich kein signifikanter Interaktionseffekt zwischen Bedingung, Kongruenz und Altersgruppe nachweisen ( $F(1,878) = 1,177$ ;  $p = .312$ ).

Aufgrund einer technischen Störung während der Antwortregistrierung konnte für die Aufgabe zum semantischen Vergleich keine Fehlerhäufigkeit ermittelt werden. Aus vorangegangenen Untersuchungen mit analogem Stimulusmaterial (vgl. Hohlfeld et al., 2004a, 2004b; Hohlfeld & Sommer, 2005) sowie eigener fortlaufender Versuchsüberwachung, kann von über 95 % richtigen Antworten ausgegangen werden.

### 3.1.2 Reaktionszeiten

Inkongruente Flankertrials zogen erwartungsgemäß längere Reaktionszeiten nach sich als kongruente Trials (kongruent: 338,14 ms vs. inkongruent: 356,35 ms). Fehlerhaft beantwortete inkongruente Flankertrials gingen mit signifikant kürzeren mittleren Reaktionszeiten einher als inkongruente richtig beantwortete Trials (inkorrekt: 332,2 ms; korrekt: 380,7 ms;  $F(1) = 132,291$ ;  $p < .001$ ).

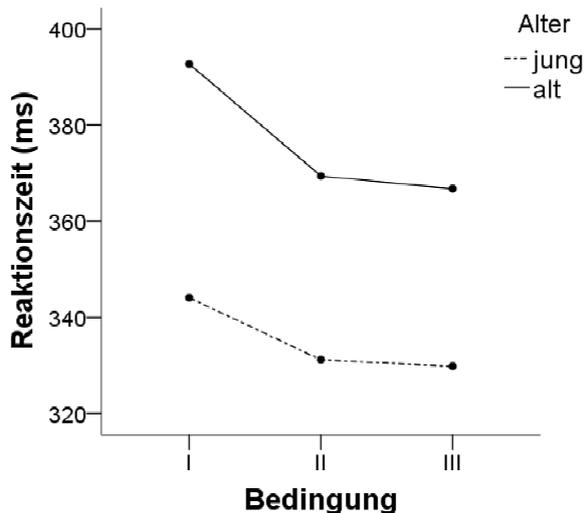
Aufgrund mangelnder Anzahl inkorrekt beantworteter Reaktionen auf kongruente Flankerstimuli wird aus inhaltlichen (vgl. Maier, di Pellegrino & Steinhauser, 2012) und statistischen Gründen in der nachfolgenden Ergebnisdarstellung nur über Reaktionszeiten auf inkongruente fehlerhaft beantwortete Flankertrials berichtet.

Die Reaktionen auf inkongruente Flankerstimuli erfolgten bei simultaner Darbietung von synonymen (Bedingung II: 350,29 ms) bzw. nicht synonymen (Bedingung III: 348,27 ms) Targetwörtern signifikant schneller als unter der Bedingung I (368,4 ms) der alleinigen Flankerdarbietung ( $F(1,632) = 36,993$ ;  $p < .001$ ). Bei den Einzeltests auf signifikante Unterschiede zeigte sich die Bedingung I zu den Mittelwerten der beiden untereinander nicht signifikanten Bedingungen II und III ( $p = .754$ ) als signifikant verschieden ( $p < .001$ ). Tabelle 3.4 gibt einen Überblick über Reaktionszeiten auf inkongruente Flankertargets, unterteilt nach Alter, Bedingung und Korrektheit der Antwort.

**Tab. 3.4** Reaktionszeiten (in ms) auf inkongruente Flankertrials in Abhängigkeit von Alter, Bedingung (Flankertrials allein (I), mit synonymen (II) bzw. nicht synonymen (III) Targetwörtern) und Korrektheit der Reaktion.

Alter	Bedingung	Korrektheit	Mittelwert	Standardfehler
Jung	I	korrekt	364,62	7,18
		falsch	323,57	7,92
	II	korrekt	357,95	4,48
		falsch	304,43	8,26
	III	korrekt	358,33	4,69
		falsch	301,29	7,56
Alt	I	korrekt	415,89	7,76
		falsch	369,5	8,56
	II	korrekt	387,44	4,84
		falsch	351,33	8,92
	III	korrekt	386,39	5,07
		falsch	347,06	8,17

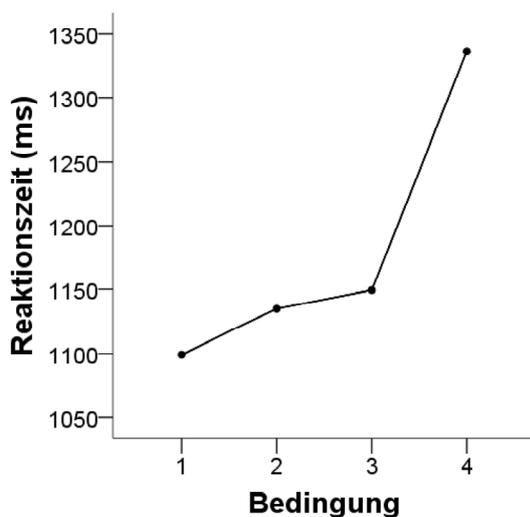
Es zeigten sich bedingungsunabhängig längere mittlere Reaktionszeiten für die Gruppe älterer Erwachsenen im Vergleich zu der jüngeren Erwachsenenengruppe ( $F(1) = 24,420$   $p < .001$ ), vgl. Abbildung 3.1.



**Abb. 3.1** Reaktionszeiten (in ms) auf inkongruente Flankertrials in Abhängigkeit von Altersgruppe und Bedingung (Flankertrials allein (I), mit synonymen (II) bzw. nicht synonymen (III) Targetwörtern).

Synonyme Targetwörter gingen mit einer kürzeren mittleren Antwortlatenz einher als nicht synonyme Targets ( $F(1) = 129,041$ ;  $p < .001$ , synonym: 1129,13 ms; nicht synonym: 1230,65 ms).

Bei der Betrachtung der Latenzzeit verbaler Antworten konnte ein signifikanter Haupteffekt des Faktors „Bedingung“ ausgewiesen werden ( $F(1,934) = 109,288$ ;  $p < .001$ ). Es zeichnete sich ein Anstieg der Latenzzeit mit zunehmender Anforderung in simultan auszuführender Flankeraufgabe ab (siehe Abbildung 3.2). Die verbale Probandenantwort erfolgte später, wenn die simultan zu bearbeitende Flankeraufgabe inkongruent war und zeigte eine weitere Verzögerung im Zusammenhang mit falschen Reaktionen in inkongruenten Flankertrials. Die paarweisen Vergleiche waren bis auf Unterschiede zwischen den Bedingungen 2 und 3 auf einem Alphaniveau von  $< .01$  signifikant.



**Abb. 3.2** Mittlere Latenzzeiten (in ms) verbaler Probandenantworten in Abhängigkeit von Bedingung: Nicht synonymes Targetwort allein (1), mit kongr. korrektem (2), inkongr. korrektem (3), inkongr. inkorrektem (4) Flankertrial.

### 3.1.3 Post-error slowing (PES)

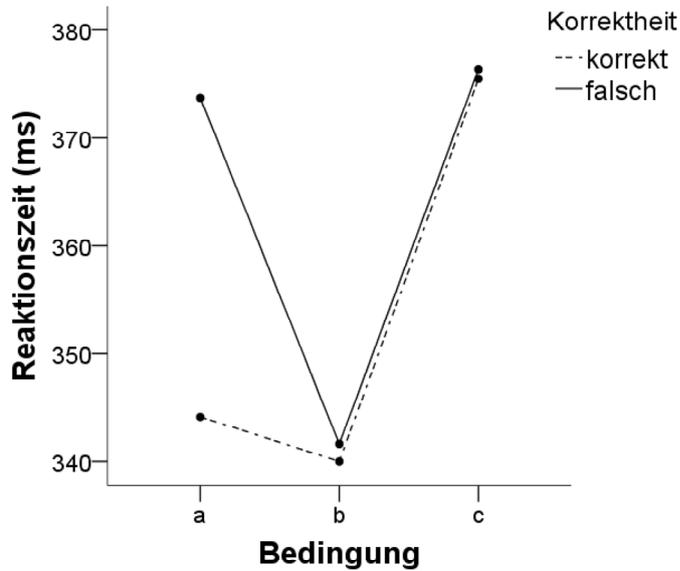
Um die Reaktionszeitverlangsamung nach fehlerhaften Reaktionen zu erfassen, wurden die Reaktionszeiten auf kongruente richtig beantwortete Flankertrials ermittelt, die den inkongruenten richtig bzw. falsch beantworteten Flankertrials untermittelbar folgten. Diese Post-error bzw. Post-correct Trials wurden in drei Bedingungen vergleichend untersucht (siehe Tabelle 3.5):

- a. Bestimmung mittlerer Reaktionszeit auf kongruente korrekt beantwortete einzelne Flankertrials bei vorausgegangenen fehlerhaften vs. korrekten Reaktionen auf einzelne inkongruente Flankertrials.
- b. Bestimmung mittlerer Reaktionszeit auf kongruente korrekt beantwortete Flankertrials in simultaner Bearbeitung mit einem Targetwort bei vorausgegangenen fehlerhaften vs. korrekten Reaktionen auf inkongruente Flankertrials in simultaner Bearbeitung mit einem Primewort.
- c. Bestimmung mittlerer Reaktionszeit auf kongruente korrekt beantwortete einzelne Flankertrials bei vorausgegangenen fehlerhaften vs. korrekten Reaktionen auf inkongruente Flankertrials in simultaner Bearbeitung mit einem Targetwort.

**Tab. 3.5** Bedingungen zur Beurteilung des Post-error slowing (RT = Reaktionszeiten).

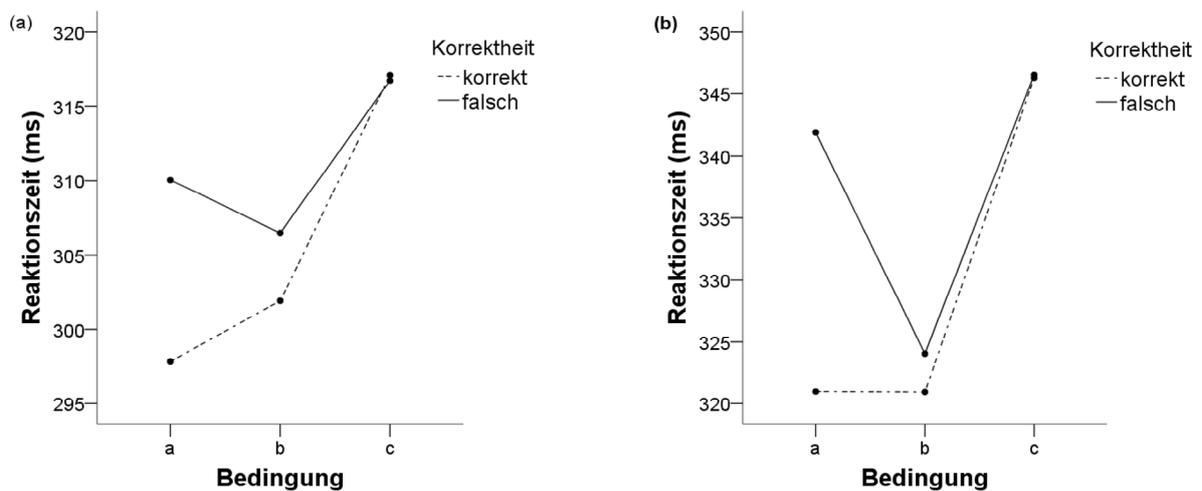
Bedingung	Flankertrial Primewort	Flankertrial Targetwort	Flankertrial einzeln	Flankertrial einzeln
a			falsch vs. korrekt	korrekt (RT)
b	falsch vs. korrekt			korrekt (RT)
c		falsch vs. korrekt		korrekt (RT)

Die Varianzanalyse ergab einen signifikanten Einfluss des Faktors Korrektheit ( $F(1) = 11,704$ ;  $p < .01$ ; post-correct: 329,41 ms; post-error: 337,5 ms) und konnte eine statistisch signifikante Interaktion zwischen Bedingung und Korrektheit aufzeigen ( $F(1,578) = 13,301$ ;  $p < .001$ , siehe Abbildung 3.3). Während in der Bedingung a der alleinigen Flankerstimulus-Darbietung eine deutlich ausgeprägte Reaktionszeitverlangsamung nach fehlerhaften Antworten im Vergleich zu post-korrekten Reaktionen festzustellen ist, kann in den Bedingungen b und c nur ein unwesentlicher Reaktionszeitunterschied verzeichnet werden.



**Abb. 3.3** Reaktionszeiten (in ms) auf kongruente richtig beantwortete Flankertrials in Abhängigkeit von Bedingung (vgl. Tabelle 3.5) und Korrektheit des jeweils vorangegangenen Flankertrials.

Die Interaktion zwischen Bedingung, Korrektheit und Altersgruppe zeigte mit  $p = .066$  einen Trend in Richtung einer etwas stärker ausgeprägten Verminderung des PES mit steigender Zusatzanforderung in der älteren Probandengruppe (vgl. Abb. 3.4a und Abb. 3.4b).



**Abb. 3.4** Reaktionszeiten auf kongruente richtig beantwortete Flankertrials in Abhängigkeit von Bedingung und Korrektheit für beide Altersgruppen (a = Jung; b = Alt).

Tabelle 3.6 gibt einen Überblick über die prozentuale Verlangsamung der Reaktionszeiten nach fehlerhaften Antworten für beide Altersgruppen pro Bedingung.

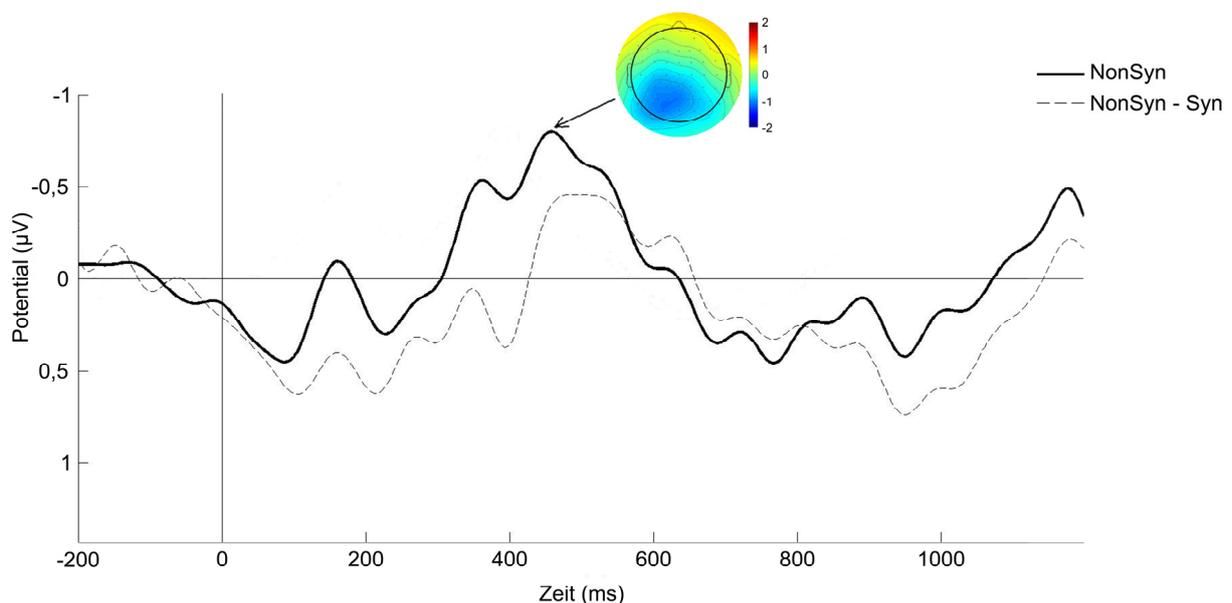
**Tab. 3.6** Post-error slowing in Prozent in Abhängigkeit von Altersgruppe und Bedingung (vgl. Tabelle 3.5).

Alter	Bedingung	PES
Jung	a	3,40
	b	1,40
	c	-0,10
Alt	a	8,60
	b	0,50
	c	0,2

## 3.2 Elektrophysiologische Variablen

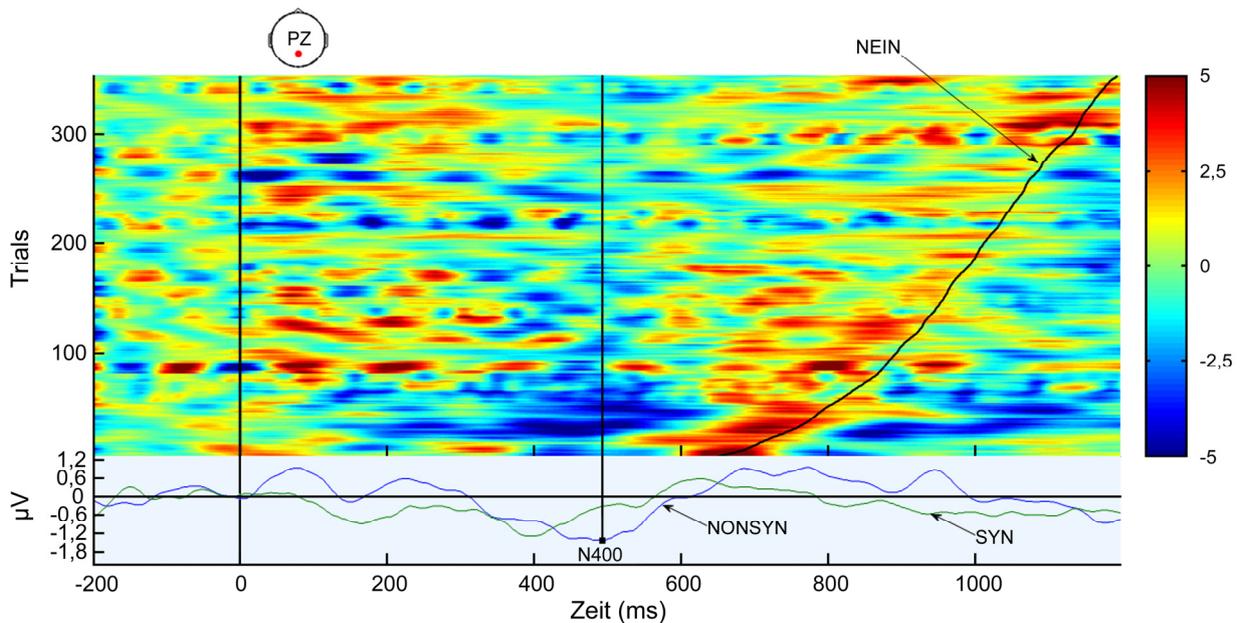
### 3.2.1 N400-Komponente

Die nachfolgende Betrachtung der N400-Komponente basiert auf dem Spannungsverlauf an der Pz-Elektrode. Die Abb. 3.5 zeigt über beide Probandengruppen gemittelte Amplitudenwerte (Grand Average) als Reaktion auf die Targetwortdarbietung in der reinen Nicht-Synonym-Bedingung. Die nach oben abgetragene Negativierung erreicht bei nicht synonymen Targetwörtern nach ca. 450 ms ihren Peak und geht allmählich auf das Baseline-Niveau zurück. Die topografische Verteilung zeigt ein zentroparietales, leicht nach links verschobenes Maximum.



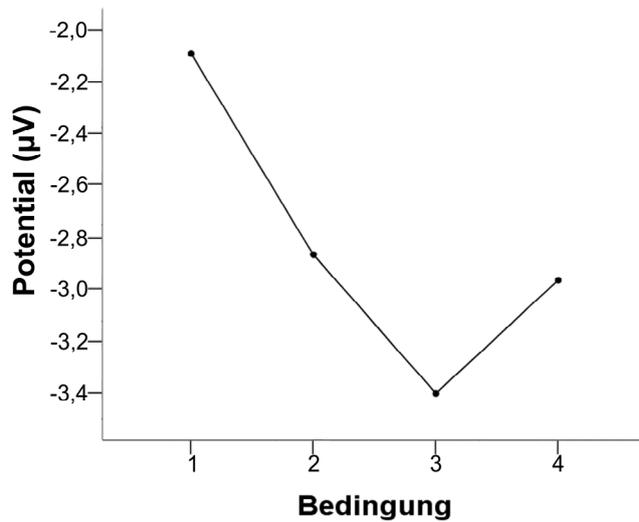
**Abb. 3.5** Verlauf und Topogramm der N400 bei Einzeldarbietung nicht synonymmer (NonSyn) Targetwörter sowie die Differenzkurve (Nicht-Synonyme – Synonyme).

In der Darstellung eines ERP-Images (Abb. 3.6), in der die einzelnen Trials der reinen Nicht-Synonympaar-Bedingung (Bedingung 1) vertikal in Form horizontaler Linien (mit farblicher Kennzeichnung der Amplituden) nach der Geschwindigkeit der verbalen Probandenantwort sortiert und anschließend fortlaufend über jeweils 10 Trials gemittelt (Moving Average) wurden, lässt sich eine relative Entkopplung der N400-Komponente von der verbalen Probandenantwort („Nein“) erkennen. In das ERP-Image gingen nur Probandenantworten der jüngeren Erwachsenenengruppe ein, die spätestens 1200 ms nach der Targetwortdarbietung registriert wurden. Unter den farblich dargestellten Potenzialveränderungen ist jeweils ein gemittelter Kurvenverlauf für die Synonym- versus die Nicht-Synonymdarbietung abgetragen.



**Abb. 3.6** ERP-Image verbaler Antworten (= schwarze Linie) der jüngeren Probandengruppe bei alleiniger Darbietung nicht synonymen Targetwörter (Bedingung 1).

Zur Untersuchung einer möglichen Beeinflussung der N400-Komponente durch steigende Aufgabenanforderungen wurden die, in der Tabelle 3.2 aufgeführten Bedingungen im Hinblick auf Mittelwertunterschiede in der Amplitude und Latenz der N400-Komponente miteinander verglichen. Die Varianzanalyse für wiederholte Messungen (Innersubjektfaktor Bedingung; Zwischensubjektfaktor Alter) ergab für die N400 Peak-Amplitude einen signifikanten Haupteffekt ( $F(2,139) = 3,864$ ;  $p = .023$ ). In der Abb. 3.7 lässt sich eine angedeutete, aufgrund hoher Streuung jedoch nicht signifikante Zunahme der negativen Peak-Amplitude von Bedingung 1 bis 3 erkennen. Die paarweisen Vergleiche waren nicht signifikant (siehe Tabelle 3.7).



**Abb. 3.7** N400 Peak-Amplituden (in  $\mu\text{V}$ ) für die Versuchsbedingungen 1 bis 4 (Nicht-Synonym allein (1), mit kongr. korrektem (2), inkongr. korrektem (3), inkongr. inkorrektem (4) Flankertrial).

Auch für den Zwischensubjektfaktor „Alter“ konnte mit  $p = .462$  keine signifikante Interaktion festgestellt werden.

Die N400 Peak-Latenzen lassen von Bedingung 1 nach 4 eine stetige, zeitliche Verzögerung erkennen, die sich auch im paarweisen Vergleich zwischen allen Bedingungen als signifikant erweist ( $F(2,426) = 151,323$ ;  $p < .001$ , für paarweise Vergleiche siehe Tabelle 3.7).

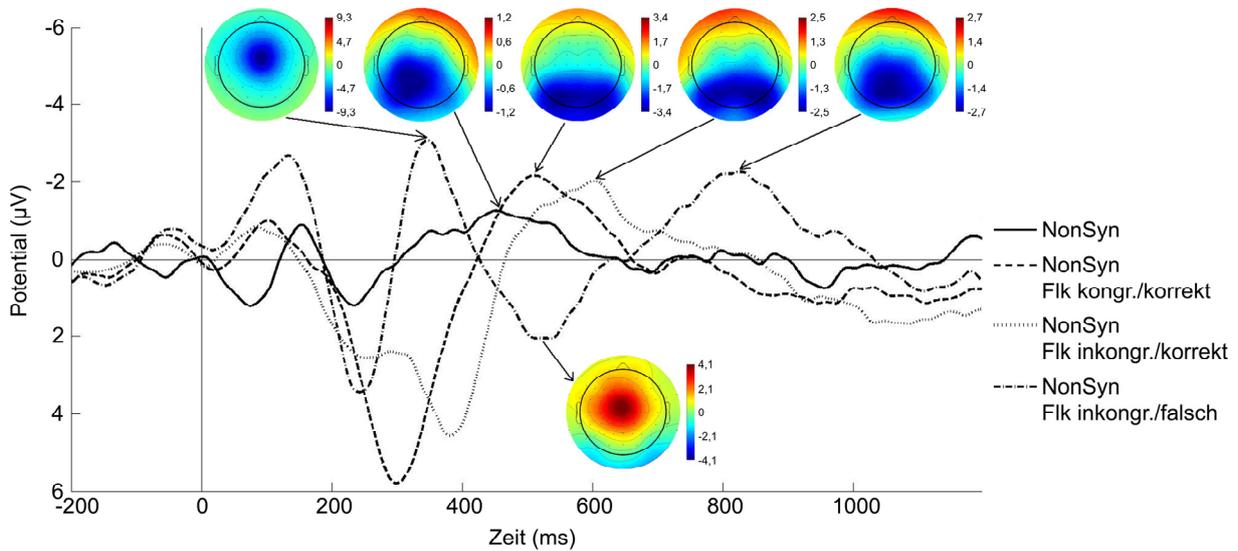
**Tab. 3.7** Paarweise Vergleiche der N400 Peak-Amplituden (in  $\mu\text{V}$ ) und -Latenzen (in ms) für die Bedingungen 1 bis 4 (Nicht synonymes Targetwort allein (1), mit kongr. korrektem (2), inkongr. korrektem (3), inkongr. inkorrektem (4) Flankertrial).

	Bedingung		Mittlere Differenz	Standardfehler	Signifikanz
N400 Peak-Amplitude	1	2	.78	.46	.586
		3	1.31	.51	.090
		4	.87	.46	.396
	2	1	-.78	.46	.586
		3	.54	.25	.223
		4	.09	.29	1.000
	3	1	-1.31	.51	.090
		2	-.54	.25	.223
		4	-.44	.31	.969
	4	1	-.87	.46	.396
		2	-.09	.29	1.000
		3	.44	.31	.969
N400 Peak-Latenz	1	2	-106,32*	15,51	.000
		3	-177,41*	16,10	.000
		4	-370,2*	21,67	.000
	2	1	106,32*	15,51	.000
		3	-71,1*	9,97	.000
		4	-263,88*	20,3	.000
	3	1	177,41*	16,10	.000
		2	71,095*	9,97	.000
		4	-192,79*	21,14	.000
	4	1	370,2*	21,67	.000
		2	263,88*	20,3	.000
		3	192,79*	21,14	.000

\* $p < .05$

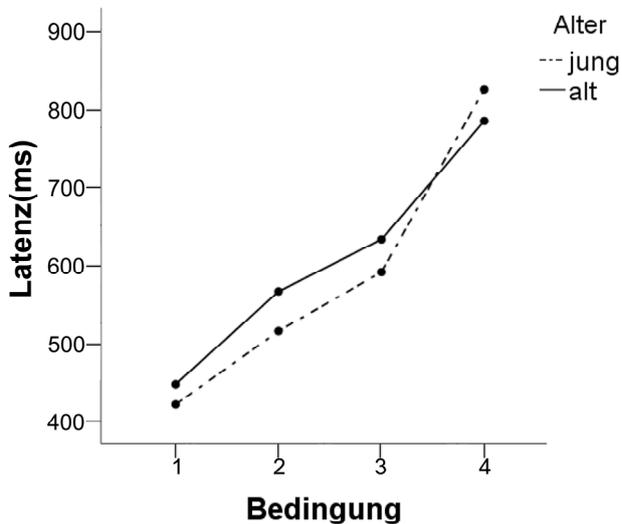
Die Abhängigkeit der N400 Kurvenverläufe und Topogramme von der Bedingungsvariation in der simultan auszuführenden Flankeraufgabe ist beispielhaft für die jüngere Probandengruppe ( $n = 21$ ) in der Abbildung 3.8 dargestellt. Die im Kurvenverlauf der Bedingung 4 auftretende Negativierung mit einem Maximum nach 360 ms ist die,

durch die Flankeraufgabe ausgelöste Error-related negativity, gefolgt von der Error positivity mit der maximalen Auslenkung nach 520 ms (vgl. Topogramme).



**Abb. 3.8** Die N400 Kurvenverläufe und topografische Verteilungen für die Bedingungen 1 bis 4 sowie die Topogramme, der durch die Simultanaufgabe ausgelösten ERN und Pe nach 360 ms bzw. 520 ms nach Targetwort-Onset.

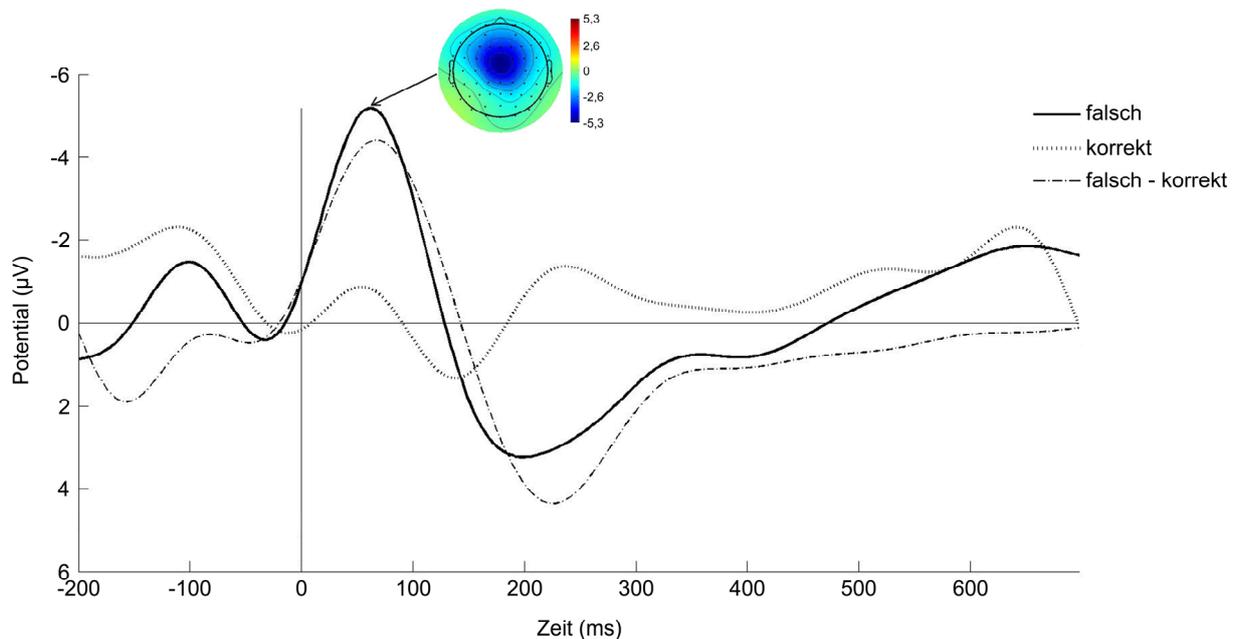
Die Abbildung 3.9 zeigt die monotone Zunahme der N400 Peak-Latenzen für die untersuchten Altersgruppen in Abhängigkeit von den vier Bedingungen. Auch hierbei ergaben sich mit  $p = .066$  keine statistisch signifikanten Altersdifferenzen.



**Abb. 3.9** N400 Peak-Latenzen (in ms) in Abhängigkeit von Bedingung (vgl. Tabelle 3.2) und Altersgruppe.

### 3.2.2 Error-related negativity (ERN)

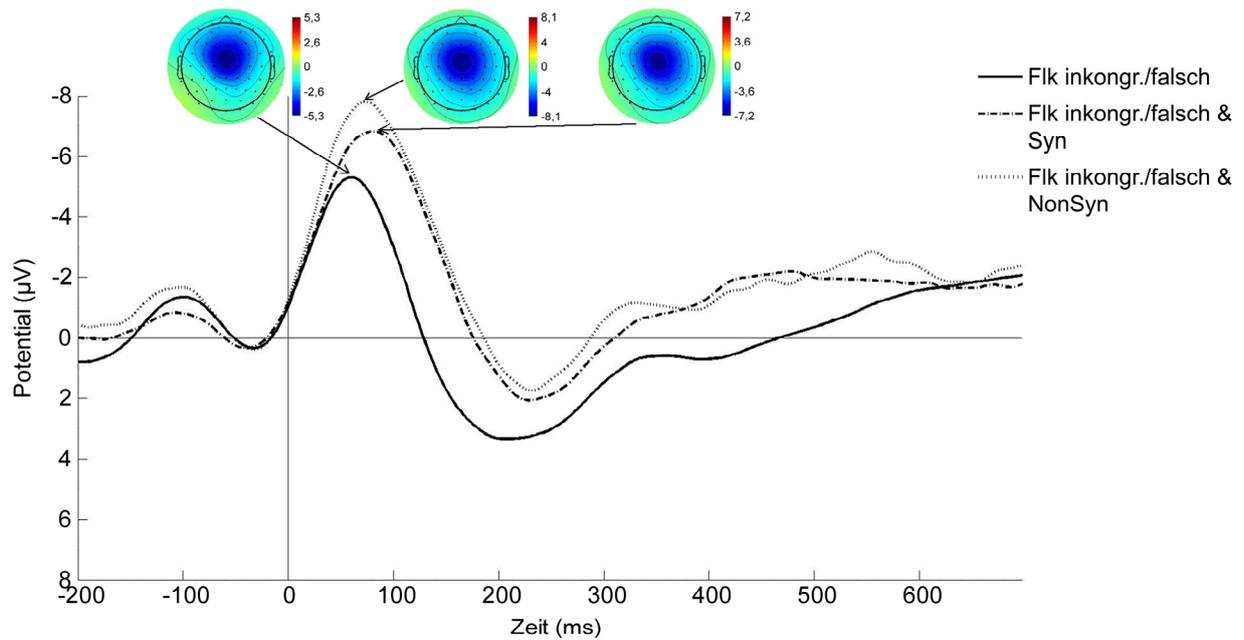
Zur Auswertung der ERN Peak-to-peak Amplitude sowie der Peak-Latenz wurden die reaktionsbezogenen gemittelten EKP an der FCz-Elektrode untersucht. Die über alle Probanden gemittelten Amplitudenwerte für die Bedingung des alleinigen Auftretens inkongruenter korrekt (CRN, correct response negativity) vs. falsch (ERN) beantworteter Flankertrials sind in der Abbildung 3.10 dargestellt.



**Abb. 3.10** ERN, CRN und die Differenzkurve (ERN – CRN) für inkongruente Flankertrials ohne Zusatzanforderung (Grand Mean über alle Probanden).

Die ERN-Kurvenverläufe sowie entsprechende Topogramme mit frontozentraler Potentialverteilung für die drei relevanten Versuchsbedingungen (inkongruente inkorrekte Flankertrials allein (I), mit synonymen (II) bzw. nicht synonymen (III) Targetwörtern) sind der Abbildung 3.11 zu entnehmen.

Mit Bezug auf den, der Negativierung vorausgehenden positiven Peak wurden die bedingungsabhängigen Peak-to-peak Amplituden ermittelt und mittels ANOVA auf Signifikanz geprüft. Mit einem F-Wert von  $F(1,847) = 15,374$  ergab sich für die Peak-to-peak Amplitude ein auf dem Alpha-Fehlerniveau von  $p < .001$  signifikanter Einfluss des Hauptfaktors Bedingung. Im paarweisen Vergleich zeigte sich die Bedingung der alleinigen Flankerdarbietung als signifikant verschieden zu den untereinander nicht signifikanten Bedingungen mit Mehrfachanforderungen (siehe Tabelle 3.8).



**Abb. 3.11** ERN Kurvenverläufe und topografische Verteilungen für die Bedingungen I bis III.

Auch für die ERN Peak-Latenz ergab die ANOVA einen signifikanten Haupteffekt des Faktors Bedingung ( $F(1,688) = 7,771$ ;  $p < .01$ ). Wobei sich erneut die Bedingung der alleinigen Flankerarbeitung (61,87 ms) als signifikant verschieden zu den beiden anderen Bedingungen (Bedingung II: 79,13 ms; Bedingung III: 77,33 ms) erwies (siehe Tabelle 3.8).

**Tab. 3.8** Paarweise Vergleiche der ERN Peak-to-peak Amplituden (in  $\mu\text{V}$ ) und -Latenzen (in ms) für die Bedingungen I bis III (inkongr. inkorrekte Flankertrials allein (I), mit synonymen (II) bzw. nicht synonymen (III) Targetwörtern).

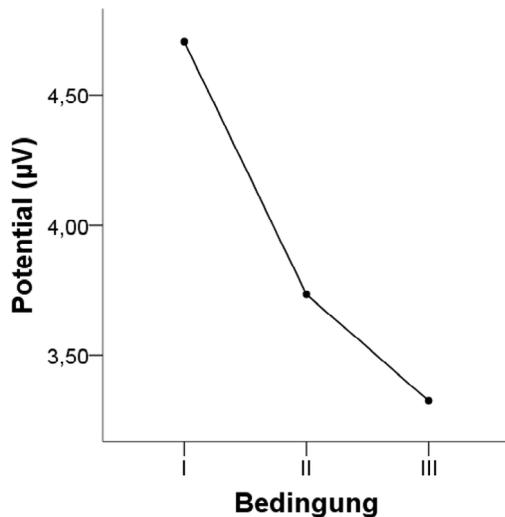
Es ließ sich weder für die ERN Peak-Amplitude noch die ERN Peak-Latenz ein statistisch signifikanter Interaktionseffekt zwischen Bedingung und Altersgruppe nachweisen.

	Bedingung		Mittlere Differenz	Standardfehler	Signifikanz
ERN Peak-Amplitude	I	II	2,95*	,63	,000
		III	4,01*	,71	,000
	II	I	-2,947*	,632	,000
		III	1,057	,882	,714
	III	I	-4,005*	,711	,000
		II	-1,057	,882	,714
ERN Peak-Latenz	I	II	-17,262*	4,162	,001
		III	-15,460*	4,141	,002
	II	I	17,262*	4,162	,001
		III	1,802	5,920	1,000
	III	I	15,460*	4,141	,002
		II	-1,802	5,920	1,000

\* $p < .05$

### 3.2.3 Error positivity (Pe)

Für die Pe Peak-Amplitude, gemessen an der FCz-Elektrode (vgl. Abbildung 3.11), zeigte sich ein Haupteffekt des Faktors Bedingung. Die Varianzanalyse ergab einen F-Wert von  $F(1,992) = 3,518$ , der auf einem Niveau von  $p < .05$  signifikant war. Die mittleren Amplituden der positiven Peaks zeigten eine systematische Abnahme der Positivierung mit zunehmender Beanspruchung durch die simultan zu bearbeitende semantische Anforderung (vgl. Abbildung 3.12). Im paarweisen Vergleich erwies sich jedoch lediglich der Mittelwertunterschied zwischen der Bedingung des alleinigen Auftretens von Flankertrials (Bedingung I) und der kombinierten Darbietung von Flankertrials mit einem nicht synonymen Targetwort (Bedingung III) als statistisch signifikant ( $p = .05$ ).



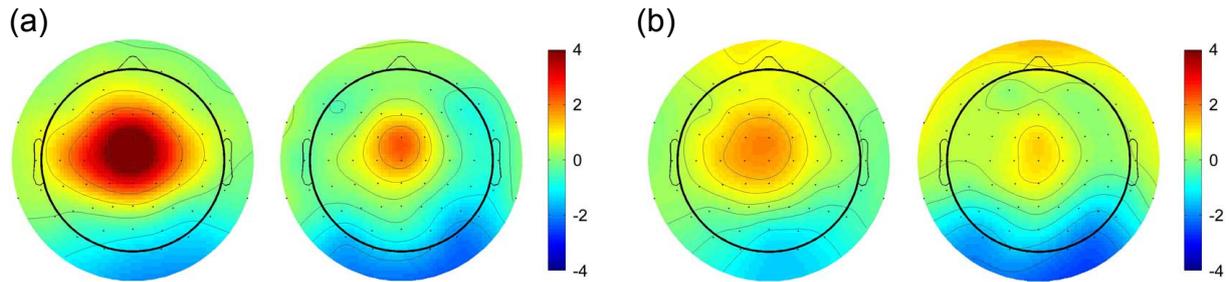
**Abb. 3.12** Mittlere Pe Peak-Amplituden (in  $\mu\text{V}$ ) für die Versuchsbedingungen I bis III (inkongr. inkorrekte Flankertrials allein (I), mit synonymen (II) bzw. nicht synonymen (III) Targetwörtern).

Mit  $p = .086$  zeigte sich ein schwacher Trend des Zwischensubjektfaktors Alter in Richtung weniger positiver Amplitudenwerte in der älteren Probandengruppe (siehe Tabelle 3.9).

**Tab. 3.9** Mittelwerte der Pe Peak-Amplituden (in  $\mu\text{V}$ ) in Abhängigkeit von Altersgruppe und Bedingung (inkongr. inkorrekte Flankertrials allein (I), mit synonymen (II) bzw. nicht synonymen (III) Targetwörtern).

Alter	Bedingung	Mittelwert	Standardfehler
Jung	I	5,95	0,65
	II	4,46	0,79
	III	3,67	0,74
Alt	I	3,46	0,71
	II	3,01	0,85
	III	2,98	0,8

Die topografische Verteilung der Error positivity für die Bedingungen I und III getrennt für die beiden Altersgruppen ist der Abbildung 3.13 zu entnehmen.



**Abb. 3.13** Zentroparietale Verteilung der Pe für reine Flankertrials (Bed. I, links) und gepaart mit nicht synonymen Targetwörtern (Bed. III, rechts) getrennt für beide Altersgruppen (a = Jung; b = Alt).

Die Pe Peak-Latenz zeigte sich relativ unbeeinflusst sowohl von dem Faktor Bedingung ( $p = .928$ ) als auch vom Alter der Probanden (jung: 227,21 ms; alt: 214,22 ms;  $p = .329$ ). Die Mittelwerte und Standardfehler der Pe Peak-Latenzen für die drei Bedingungen sind der Tab. 3.10 zu entnehmen.

**Tab. 3.10** Mittelwerte der Pe Peak-Latenzen (in ms) in Abhängigkeit von Versuchsbedingung (inkongr. inkorrekte Flankertrials allein (I), mit synonymen (II) bzw. nicht synonymen (III) Targetwörtern).

Bedingung	Mittelwert	Standardfehler
I	220,26	8,68
II	222,33	8,27
III	219,6	6,58

## 4 Diskussion und praktische Implikationen

In einer an Bürotätigkeit erinnernden Doppelaufgabensituation wurden gleichzeitig eine visuell-manuelle und eine auditiv-verbale Aufgabe bearbeitet. Dabei wurden auf neurophysiologischer Ebene die Effekte des Multitaskings auf das experimentell angestrebte zeitgleiche Auftreten von Fehlermonitoringprozessen (ERN) und semantischem Wortvergleich (N400) untersucht.

Unter Berücksichtigung peripherer Interferenzquellen (vgl. Abschnitt 1.6) konnten aus Verhaltensdaten (Fehlerraten, Reaktionszeiten, Post-error slowing) und insbesondere aus Ereigniskorrelierten Potentialen des EEG (ERN, Pe, N400) Wechselwirkungen zwischen den beiden, kontrollierte Verarbeitung erfordernden Prozessen (vgl. Abschnitte 1.5.1 und 1.5.2) beurteilt werden. Von besonderem Interesse war die erweiterte Betrachtung der den fehlerhaften Reaktionen folgenden Fehlerverarbeitungsprozesse, die nur selten im Rahmen von Doppelaufgaben untersucht wurden, aber von hoher praktischer Relevanz sind.

Trotz der theorie- und empiriegeleiteten Designentwicklung mit der Bemühung um eine möglichst simultane Verarbeitung (vgl. Abschnitt 1.6), lassen die Ergebnisse deutliche Interferenzen zwischen der Fehlerverarbeitung und dem semantischen Vergleich erkennen. Anstelle der instruierten und experimentell angestrebten simultanen Aufgabenbearbeitung zeigte sich auf der zentralnervösen Ebene nicht nur eine sequentielle Verarbeitung, sondern auch eine wechselseitige Beeinflussung der seriell ablaufenden Prozesse. Trotz unterschiedlicher neuronaler Generatoren schaffte es das Gehirn nicht, unter den gegebenen Versuchsbedingungen beiden Prozessen ohne Einbußen zur selben Zeit gerecht zu werden.

Bereits in den Verhaltensdaten deutete sich eine zeitliche Verzögerung des semantischen Vergleichs im Zusammenhang mit Fehlhandlungen in der parallel auszuführenden Flankeraufgabe an. Denn obwohl fehlerhaft beantwortete Flankertrials im Vergleich zu korrekten Antworten deutlich kürzere Reaktionszeiten aufwiesen, gingen sie dennoch in der parallel auszuführenden Wortvergleichsaufgabe mit signifikant längeren Antwortlatenzen einher. Da die in Reaktionszeiten eingehenden Verarbeitungsstufen der Wahrnehmung, Reaktionsauswahl und der motorischen Reaktion die Verzögerung nicht erklären können, muss davon ausgegangen werden, dass die Verarbeitung des jeweiligen Fehlers, einen sog. Flaschenhalsprozess initiierte und trotz der schnellen manuellen Reaktionen auf die visuellen Stimuli die verspätete verbale Ja/Nein-Antwort bedingte.

Neben Verhaltensdaten, die als ein Endergebnis nur indirekte Schlüsse über vermittelnde Verarbeitungsstufen zulassen (Sommer & Hohlfeld, 2008) und nicht zwangsläufig mit entsprechenden Änderungen in zugrundeliegenden Prozessen einhergehen müssen (Hoffmann & Falkenstein, 2011; vgl. ERP-Image, Abb. 3.6), zeigte insbesondere auch die N400 Peak-Latenz eine deutliche zeitliche Verzögerung mit steigender Anforderung in der Simultanaufgabe, die im Falle fehlerhafter inkongruenter Flankertrials mit über 400 ms Verzug maximal war (vgl. Abb.) und die Erkenntnisse aus den Verhaltensdaten bestätigte.

Inwieweit es infolge von Fehlerverarbeitungsprozessen neben dem zeitlichen Aufschub der N400-Komponente zur systematischen Amplitudenänderung und somit einer qualitativen Beeinträchtigung der semantischen Informationsverarbeitung gekommen ist, kann aufgrund der hohen interindividuellen Unterschiede (insbesondere zeitlicher Jitter) nicht endgültig beurteilt werden. Die N400-Amplitude, als Maß neuronaler Aktivität während eines Informationsverarbeitungsprozesses (Sommer &

Hohlfeld, 2008), zeigte unabhängig von der Korrektheit der Reaktionen auf die Flankeraufgabe unter allen Bedingungen mit Zusatzanforderungen im Vergleich zu der Einfachaufgabenbedingung signifikant negativere Peak-Amplituden. Inwieweit die insgesamt erschwerte semantische Integration des Targetwortes unter Mehrfachbelastung die Amplitudenzunahme erklären könnte, ist nicht eindeutig zu beantworten (vgl. Abschnitt 1.5.1). Auch das Fehlermonitoring zeigt sich durch die Simultanaufgabe verändert. Es ergaben sich signifikante Unterschiede in der ERN Peak-to-peak Amplitude und Peak-Latenz zwischen der Einzelaufgabe und den Doppelaufgabenbedingungen. Die Synonymität der Wortpaare hatte jedoch weder auf die ERN Peak-to-peak Amplitude noch die Peak-Latenz einen signifikanten Einfluss. Während die ERN Peak-Latenz unter der Einfachanforderung kürzer ausfiel und somit im Zusammenhang mit besserer Verfügbarkeit von Ressourcen interpretiert werden kann, bedarf die Interpretation der, mit verschiedenen methodischen Verfahren<sup>2</sup> ausgewiesener Amplitudenzunahme der ERN einer Klärung durch weitere Untersuchungen. Hypothesenkonform lässt sich mit zunehmender simultaner Aufgabenanforderung eine Amplitudenabnahme der Pe feststellen, die für die ältere Probandengruppe tendenziell stärker ausgeprägt war. Unter der Bedingung mit parallel zu erbringender semantischer Entscheidung zeigt die mittlere Amplitude das am geringsten ausgeprägte positive Maximum. Das Gehirn kann unter dieser Bedingung offenbar nicht genug Kapazität aufbringen, um jeden Handlungsfehler bewusst wahrzunehmen und zu verarbeiten.

Dieser Hinweis auf die Beeinträchtigung bewusster Fehlerverarbeitung unter Mehrfachbelastung steht im Einklang mit der drastischen Reduktion des PES bei komplexer werdender Zusatzanforderung, welche für die ältere Probandengruppe stärker ausgeprägt ist. Während ein deutliches PES nach fehlerhaften Reaktionen auf separat dargebotene Flankeraufgaben zu beobachten ist, wird es nach Fehlreaktionen bei paralleler akustischer Primewortwahrnehmung bereits stark reduziert und lässt sich nach inkorrekten Antworten während der Targetwortdarbietung in beiden Altersgruppen nicht mehr feststellen. Unter Multitasking konnte das Verhalten nicht mehr optimal an die aktuellen Erfordernisse angepasst werden. Die Reaktionsgeschwindigkeit nach Fehlern blieb auf demselben hohen Niveau wie nach fehlerfreien Reaktionen und das sowohl für jüngere wie für ältere Probanden. Insbesondere in der Gruppe der 50- bis 65-Jährigen, die in der Einfachaufgabe literaturkonform mehr als doppelt so hohes PES aufwiesen (vgl. Abschnitt 1.5.3), konnte eine radikale Abnahme der Reaktionszeitdifferenz bereits bei der zeitgleichen akustischen Wahrnehmung des Primewortes beobachtet werden (vgl. Dux et al., 2010).

Die vermutlich etwas stärkere Beanspruchung älterer Personen durch Multitasking spiegelt sich in unseren Befunden, abgesehen von der minimal geringeren mittleren Pe-Peak-Amplitude nicht auf der zentralen Verarbeitungsebene, sondern vor allem in den Verhaltensdaten (längere Reaktionszeiten, geringeres PES) wider und dies bei großer interindividueller Variabilität. Die sich lediglich tendenziell andeutenden Leistungsänderungen auf der zentralnervösen Ebene ergeben sich vermutlich durch den relativ geringen Altersunterschied zwischen den untersuchten Probandengruppen im berufsrelevanten Alter (mittlere Differenz ca. 30 Jahre). Nach Binnie (2003) lassen sich relevante altersbedingte EEG-Veränderungen erst ab einem Lebensalter von 60 Jahren feststellen, während zwischen dem 20. und dem 60. Lebensjahr von einer

---

<sup>2</sup> Die nachträgliche Beurteilung der Grand-Mean Differenzkurven (ERN-CRN) und der Topogramme lässt keine systematischen Überlagerungen erkennen. Die Amplitudenzunahme der ERN bleibt bestehen.

relativen Stabilität des EEG gesprochen werden kann (Binnie, Cooper, Mauguire, Osselton, Prior, Tedman, 2003). Verlängerte Reaktionszeiten und PES älterer gegenüber jüngeren Probanden wurden bereits in vielen Studien beschrieben und ausführlich diskutiert (z. B. Band & Kok, 2000). Ältere neigen nicht nur zu einer stärker genauigkeitsorientierten Arbeitsweise, sondern besitzen auch eine geringere Fähigkeit zur kognitiven Kontrolle über die Balance zwischen der Genauigkeit und Schnelligkeit einer Anforderung, die sich Dutilh et al. (2012a) zufolge mitunter in einem ausgeprägteren PES niederschlägt. Zu bemerken ist, dass in der vorliegenden Studie bereits bei einem relativ niedrigen mittleren Alter der älteren Probandengruppe Unterschiede verzeichnet werden können, die in anderen Untersuchungen oft erst ab einem Lebensalter von 70 Jahren auftreten (z. B. Paridon, 2010). Es ist davon auszugehen, dass bei einer größeren Altersgruppendifferenz bereits vorhandene Unterschiede und sich andeutende Tendenzen deutlichere Altersgruppeneffekte erkennen lassen.

Die Betrachtung der Fehlererkennungs- und -verarbeitungsprozesse unter Multitasking ergab insgesamt nicht nur veränderte Monitoringprozesse, sondern auch eine Beeinträchtigung der bewussten Fehlererkennung und eine mit dem verschwindenden PES maßgeblich gestörte adaptive Verhaltenskontrolle nach fehlerhaften Arbeitsschritten. Ein Ergebnis, das nicht nur die Wichtigkeit der weiteren Erforschung von Fehlerverarbeitungsprozessen unter beschleunigten Multitaskingbedingungen unterstreicht, sondern vor allem praktische Implikationen zwingend erforderlich macht.

Einigen Untersuchungen zufolge neigen Menschen bei zwei zeitlich kurz nacheinander eingehenden Informationen dazu, beide Arbeitsanforderungen möglichst parallel zu verarbeiten (Lehle, Steinhauser & Hübner, 2009). Entgegen theoretischen Erkenntnissen (Abschnitt 1.1) und trotz objektiv leidender Arbeitsproduktivität und -qualität (steigende Fehlerrate, Zeitverluste) wird die scheinbar gleichzeitige der seriellen Verarbeitung spontan vorgezogen. Das während der sukzessiven Verarbeitung notwendige kurzweilige Ignorieren und Zurückstellen neu eingehender Informationen, erfordert ein vergleichsweise höheres Maß an fokussierter Aufmerksamkeit und kognitiver Kontrolle, wodurch die Abschirmung serieller Bearbeitung vor Distraktoren mit stärkerer mentaler Anstrengung einhergeht, als die objektiv weniger effektive, scheinbar gleichzeitige Verarbeitung.

Wie die aktuelle Untersuchung zeigt, kann jedoch diese vor dem Hintergrund häufiger Arbeitsunterbrechungen und Informationsüberflutung subjektiv effizienter erlebte Tendenz mit weitreichenden Konsequenzen verbunden sein. Vor allem dann, wenn beide Aufgaben kontrollierte Verarbeitung erfordern, muss beim Multitasking von einem potentiellen Risiko ausgegangen werden, dass ein Teil der Fehler nicht erkannt und nicht behoben wird. Unter bestehendem Zeitdruck wird es folglich nicht adäquat gelingen, das Fehlverhalten an aktuell vorherrschende Bedingungen anzupassen und aus Fehlern zu lernen. So ist bei kontrolliert ablaufenden, bewusste Verarbeitung und Aufmerksamkeit fordernden Tätigkeiten mit weitreichenden Fehlerkonsequenzen unbedingt vom sog. Multitasking abzuraten.

Es ist weiterhin anzunehmen, dass ältere Personen größere Schwierigkeiten haben werden, diese notwendige Leistung der kognitiven Kontrolle zu erbringen, wo bereits die Inhibition aufgabenirrelevanter Stimuli im Vergleich zu jüngeren Probanden deutlich schlechter gelingt (vgl. Abschnitt 1.3) und die adaptive Verhaltensanpassung nach Fehlern kaum erfolgt (PES). Unter Zeitdruck ist eine Verschlechterung der Leistung zu erwarten, wogegen eher wissensbasierte und routinierte Tätigkeiten älteren Probanden deutlich weniger Schwierigkeiten bereiten (nach Baethge und Rigotti,

2010). Aus theoretischen und empirischen Erkenntnissen sind somit mehrere Schlussfolgerungen abzuleiten. Bloße Hinweise und Anregungen werden nicht ausreichen, um die Informationsflut am Arbeitsplatz effektiv zu beherrschen. Insbesondere an Arbeitsplätzen, an denen Fehlhandlungen gravierende Verluste und bedrohliche Konsequenzen verursachen können, sind in erster Linie die Arbeitsumgebung und Arbeitsgestaltung entsprechend zu organisieren. Mit zurückgehender Anzahl, oft nicht notwendiger störender Faktoren (z. B. Email-Benachrichtigung) kann die Arbeitsleistung verbessert und die Beanspruchung gesenkt werden. Bei nicht automatisierten Aufgaben gelingt es weder dem jungen noch dem älteren Gehirn zwei Prozesse gleichzeitig zu verarbeiten und dabei eine reibungslose Fehlerüberwachung zu realisieren. In Berufen, wo sog. Multitasking unvermeidbar ist oder solchen mit automatisierten Tätigkeiten und geringer Gefahr gravierender Fehlhandlungsfolgen, kann mit gezieltem Training und zunehmender Übung die Leistung entscheidend verbessert werden (z. B. Bherer, Kramer, Peterson, Colcombe, Erickson & Becic, 2008). Weiterführende Untersuchungen der Trainingseffekte unter Verwendung neurophysiologischer Indikatoren, lassen neue Erkenntnisse zur psychischen Beanspruchung und zur interindividuellen Variabilität beim sog. Multitasking erwarten.

Zusammenfassend ist festzustellen:

- Trotz instruierter und experimentell angestrebter simultaner Verarbeitung, laufen bewusstseinspflichtige Prozesse im ZNS nicht gleichzeitig ab (vgl. N400-Peak-Latenz, Antwortlatenzen)
- Die seriell ablaufenden Prozesse beeinflussten sich darüber hinaus wechselseitig:
  - Die visuell-manuelle Aufgabe verzögert den semantischen Vergleich (längere Antwortzeit, verzögerte N400-Peak-Latenzen) und führt zur Veränderung der N400-Peak-Amplituden.
  - Der semantische Vergleich verändert das zeitgleich zu erfolgende Fehlermonitoring (kürzere Reaktionszeiten, Zunahme der Fehler, abgeschwächte Fehlerdetektion, vermindertes PES).
- Praxisrelevant ist insbesondere die unter Multitasking beobachtete Beeinträchtigung der bewussten Fehlererkennung (Pe-Amplitude) und die maßgeblich gestörte adaptive Verhaltenskontrolle nach Fehlern (PES).
- Ältere Probanden zeigen auf der zentralen Verarbeitungsebene nur minimale Unterschiede (Pe) im Vergleich zur jüngeren Probandengruppe – Altersdifferenzen sind vor allem auf der Verhaltensebene festzustellen (längere Reaktionszeiten bei tendenziell geringerer Fehlerrate, stärkere Beeinträchtigung adaptiver Verhaltenskontrolle unter Multitasking).
- Bei bewusste Aufmerksamkeit erfordernden Prozessen und potentiell schwerwiegenden Fehlerfolgen ist von Multitaskingsituationen durch zeitlich parallele Informationsdarbietungen abzuraten.
- Menschen neigen zur scheinbar parallelen (verschachtelten) Aufgabenbearbeitung, deshalb reichen bloße Hinweise nicht aus – Arbeitsumgebung und Gestaltung sind entsprechend zu organisieren.
- In Berufen mit unvermeidbaren Multitasking-Anforderungen können Trainingsmaßnahmen dazu beitragen, die Leistung zu verbessern.

## Literaturverzeichnis

- Baethge, A.; Rigotti, T.: Arbeitsunterbrechungen und Multitasking. Ein umfassender Überblick zu Theorien und Empirie unter besonderer Berücksichtigung von Altersdifferenzen. Dortmund/Berlin/Dresden: BAuA 2010
- Band, G. P. H.; Kok, A.: Age effects on response monitoring in a mental-rotation task. *Biological Psychology* 51 (2000), 201-221
- Bherer, L.; Kramer, A. F.; Peterson, M. S.; Colcombe, S.; Erickson K.; Becic, E.: Transfer effects in task-set cost and dual-task cost after dual-task training in older and younger adults: further evidence for cognitive plasticity in attentional control in late adulthood. *Exp Aging Res.* 34 (2008), 3, 188-219
- BIBB-BAuA Erwerbstätigenbefragung 2006, [www.baua.de/arbeitsbedingungen](http://www.baua.de/arbeitsbedingungen), <http://www.bibb.de/de/26738.htm>
- Binnie, C.D.; Cooper, R.; Mauguiere, F.; Osselton, J.W.; Prior, P.F.; Tedman, B.M.: *Clinical Neurophysiology 2. EEG, paediatric neurophysiology, special techniques and applications.* Amsterdam: Elsevier Sciences 2003
- Birbaumer, N.; Schmidt, R. F.: Untersuchung der Hirnaktivität des Menschen. In: Schmidt, F.; Schaible, H.-G. (Hrsg.): *Neuro- und Sinnesphysiologie.* Heidelberg: Springer Medizin Verlag 2006, 353-373
- Borst, J. P.; Taatgen, N. A.; Van Rijn, H.: The problem state: A cognitive bottleneck in multitasking. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 36 (2010), 2, 363-382
- Brain Products GmbH: Auswahl einer geeigneten EEG-Ableithaube, Tutorial, Version 001 (2009) Online im Internet: [http://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=auswahl%20einer%20geeigneten%20eegableithaube&source=web&cd=1&ved=0CB8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.brainproducts.com%2Ffiledownload.php%3Fpath%3Ddownloads%2FTutorial%2FAuswahl\\_einer\\_Haube\\_Tutorial-001.pdf&ei=Gsj8Tq6QMY7EtAajiOgE&usg=AFQjCNFqPpoU64RcM4qvG2IXW52qUYzp8A&cad=rja](http://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=auswahl%20einer%20geeigneten%20eegableithaube&source=web&cd=1&ved=0CB8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.brainproducts.com%2Ffiledownload.php%3Fpath%3Ddownloads%2FTutorial%2FAuswahl_einer_Haube_Tutorial-001.pdf&ei=Gsj8Tq6QMY7EtAajiOgE&usg=AFQjCNFqPpoU64RcM4qvG2IXW52qUYzp8A&cad=rja) (2011-12-28).
- Coles, M. G. H.; Scheffers, M. K.; Holroyd, C. B.: Why is there an ERN/Ne on correct trials? Response representations, stimulus-related components, and the theory of error-processing. *Biological Psychology* 56 (2001), 173-189
- Danielmeier, C.; Eichele, T.; Forstmann, B. U.; Tittgemeyer, M.; Ullsperger, M.: Posterior medial frontal cortex activity predicts post-error adaptations in task-related visual and motor areas. *The Journal of Neuroscience* 31 (2011), 5, 1780-1789
- Danielmeier, C.; Ullsperger, M.: Post-error adjustments. *Frontiers in Psychology* 2 (2011), 233.
- Debener, S.; Ullsperger, M.; Siegel, M.; Fiehler, K.; von Cramon, D. Y.; Engel, A. K.: Trial-by-trial coupling of concurrent electroencephalogram and functional magnetic

resonance imaging identifies the dynamics of performance monitoring. *The Journal of Neuroscience* 25 (2005), 50, 11730-11737

Danielmeier, C.; Wessel, J. R.; Steinhauser, M.; Ullsperger, M.: Modulation of the error-related negativity by response conflict. *Psychophysiology* 46 (2009), 6, 1288-1298

De Jong, R.: Multiple bottlenecks in overlapping task performance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 19 (1993), 5, 965-980

Dudschig, C.; Jentsch, I.: Speeding before and slowing after errors: Is it all just strategy? *Brain Res.* (2009), doi:10.1016/j.brainres.2009.08.009

Dutilh, G.; Forstmann, B.; Vandekerckhove, J.; Wagenmaker, E.-J. (in press): A diffusion model account of age differences in post-error slowing. *Psychology and Aging* 2012a

Dutilh, G.; Vandekerckhove, J.; Forstmann, B.; Keuleers, E.; Brysbaert, M.; Wagenmakers, E.-J.: Testing theories of post-error slowing. *Attention, Perception, & Psychophysics* 74 (2012b), 2, 454-465

Dux, P. E.; Tombu, M. N.; Harrison, S.; Rogers, B. P.; Tong, F.; Marois, R.: Training improves multitasking performance by increasing the speed of information processing in human prefrontal cortex. *Neuron* 63 (2009), 1, 127-138

Endrass, T.; Schreiber, M.; Kathmann, N.: Speeding up older adults: Age-effects on error processing in speed and accuracy conditions. *Biological Psychology* 89 (2012), 426-432

Eysenck, M. W.: *Principles of cognitive psychology*. 2. ed. Hove, East Sussex: Psychology Press 2001

Falkenstein, M.; Hohnsbein, J.; Hoormann, J.; Blanke, L.: Effects of crossmodal divided attention on late ERP components: II. Error processing in choice reaction tasks. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 78 (1991), 447-455

Falkenstein, M.; Hoormann, J.; Christ, S.; Hohnsbein, J.: ERP components on reaction errors and their functional significance: a tutorial. *Biological Psychology* 51 (2000), 87-107

Freude, G.; Ullsperger, P.: Unterbrechungen bei der Arbeit und Multitasking in der modernen Arbeitswelt – Konzepte, Auswirkungen und Implikationen für Arbeitsgestaltung und Forschung. *Zbl Arbeitsmed* 60 (2010), 120-128

Friedman, A.; Polson, M. C.: Hemispheres as independent resource systems: Limited-capacity processing and cerebral specialization. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 7 (1981), 1031-1058.

- Gehring, W. J.; Goss, B.; Coles, M. G.; Meyer, D. E.: A neural system for error detection and compensation. *Psychological Science* 4 (1993), 385-390
- Gerloff, C.: Ereigniskorrelierte Potenziale (EKP). In: Stöhr, M.; Dichgans, J.; Buettner U. W.; Hess, C. W. (Hrsg.): *Evozierte Potentiale*. Heidelberg: Springer 2005, 499-538
- Göthe, K; Kliegl, R; Oberauer, K.: Age differences in dual-task performance after practice. *Psychology and Aging* 22 (2007), 3, 596-606
- Hahn, M.; Wild-Wall, N.; Falkenstein, M.: Age-related differences in performance and stimulus processing in dual task situation. *Brain Research* 1414 (2011), 66-76
- Hajcak, G.; McDonald, N.; Simons, R. F.: To err is autonomic: Error-related brain potentials, ANS activity, and post-error compensatory behavior. *Psychophysiology* 40 (2003), 895-903
- Harbin, T.J.; Marsh, G.R.; Harvey, M.T.: Differences in the late components of the event-related potential due to age and to semantic and non-semantic tasks. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 59 (1984), 6, 489-496
- Hartley, A. A.; Maquestiaux, F.; Butts, N. S.: A demonstration of dual-task performance without interference in some older adults. *Psychology and Aging* 26 (2011), 1, 181-187
- Hasher, L.; Zacks, R. T.: Working memory, comprehension, and aging: A review and a new view. In: Bower, G. H. (Hrsg.): *The psychology of learning and motivation* 22. San Diego, CA: Academic Press 1988, 193-225
- Hazeltine, E.; Ruthruff, E.: Modality pairing effects and the response selection bottleneck. *Psychological Research* 70 (2006), 6, 504-513
- Hazeltine, E.; Ruthruff, E.; Remington, R.W.: The role of input and output modality pairings in dual-task performance: Evidence for content-dependent central interference. *Cognitive Psychology* 52 (2006), 291-345
- Hazeltine, E.; Teague, D.; Ivry, R. B.: Simultaneous dual-task performance reveals parallel response selection after practice. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 28 (2002), 3, 527-545
- Hedden, T.; Gabrieli, J. D. E.: Insights into the ageing mind: A view from cognitive neuroscience. *Nature Reviews - Neuroscience* 5 (2004), 87-96
- Hein, G.; Schubert, T.: Aging and input processing in dual-task situations. *Psychology and Aging* 19 (2004), 3, 416-432
- Hendy, K. C.; Liao, J.; Milgram, P.: Combining time and intensity effects in assessing operator information-processing load. *Human Factors* 39 (1997), 1, 30-47

Herrmann, M. J.; Römmler, J.; Ehlis, A.-C.; Heidrich, A.; Fallgatter, A. J.: Source localisation (LORETA) of the error-related-negativity (ERN/Ne) and positivity (Pe). *Cognitive Brain Research* 20 (2004), 2, 294-299

Heuer, H.: Doppeltätigkeiten. In: Neumann, O.; Sanders, A. F. (Hrsg.): *Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich C Theorie und Forschung. Serie II Kognition. Bd. 2 Aufmerksamkeit*. Göttingen: Hogrefe 1996, 163-218

Hewig, J.; Coles, M. G. H.; Trippe, R. H.; Hecht, H.; Miltner, W. H. R.: Dissociation of Pe and ERN/Ne in the conscious recognition of an error. *Psychophysiology* 48 (2011), 10, 1390-1396

Hill, H.; Strube, M.; Roesch-Ely, D.; Weisbrod, M.: Automatic vs. controlled processes in semantic priming – differentiation by event-related potentials. *International Journal of Psychophysiology* 44 (2002), 197-218

Hirsh, J. B.; Inzlicht, M.: Error-related negativity predicts academic performance. *Psychophysiology* 47 (2010), 192-196

Hochman, E. Y.; Meiran, N.: Central interference in error processing. *Memory & Cognition* 33 (2005), 4, 635-643

Hoffmann, S.; Falkenstein, M.: Aging and error processing: Age related increase in the variability of the Error-Negativity is not accompanied by increase in response variability (2011). *PLoS ONE* 6(2): e17482. doi:10.1371/journal.pone.0017482

Hohlfeld, A.; Mierke, K.; Sommer, W.: Is word perception in a second language more vulnerable than in one's native language? Evidence from brain potentials in a dual task setting. *Brain and Language* 89 (2004a), 3, 569-579

Hohlfeld, A.; Sangals, J.; Sommer, W.: Effects of additional tasks on language perception: An event-related brain potential investigation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 30 (2004b), 5, 1012-1025

Hohlfeld, A.; Sommer, W.: Semantic processing of unattended meaning is modulated by additional task load: Evidence from electrophysiology. *Cognitive Brain Research* 24 (2005), 3, 500-512

Holroyd, C. B.; Coles, M. G. H.: The neural basis of human error processing: reinforcement learning, dopamine, and the error-related negativity. *Psychological Review* 109 (2002), 4, 679-709

Holroyd, C. B.; Dien, J.; Coles, M. G. H.: Error-related scalp potentials elicited by hand and foot movements: Evidence for an output-independent error processing system in humans. *Neuroscience Letters* 242 (1998), 65-68

Holtzer R.; Stern Y.; Rakitin B. C.: Predicting age-related dual-task effects with individual differences on neuropsychological tests. *Neuropsychology* 19 (2005), 1, 18-27

Kahneman, D.: Attention and effort. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall 1973

Kiefer, J.; Schulz, M.; Schulze-Kissing, D. & Urbas, L.: Multitasking-Strategien in der Mensch-maschine-Interaktion. MMI-Interaktiv 11 (2006), 26-42

Kiefer, J.; Urbas, L.: Multitasking-Heuristiken in dynamischer Mensch-Technik-Interaktion. In: M. Grandt; A. Bauch (Hrsg.): Cognitive Systems Engineering in der Fahrzeug- und Prozessführung. Bonn: Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR-Bericht) 2006 Online im Internet: [http://www.prometei.de/fileadmin/prometei.de/publikationen/Kiefer\\_anthropotechnik.pdf](http://www.prometei.de/fileadmin/prometei.de/publikationen/Kiefer_anthropotechnik.pdf) (2011-10-16).

King, J. W.; Kutas, M.: Do the waves begin to waver? ERP studies of language processing in the elderly. In: Allen P.; Bashore, T. R. (Hrsg.). Age differences in word and language processing. Elsevier Science B. V. 1995, 314-344

König, C. J.; Bühner, M.; Mürling, G.: Working memory, fluid intelligence, and attention are predictors of multitasking performance, but polychronicity and extraversion are not. Human Performance 18 (2005), 3, 243-266

Kutas, M.; Federmeier, K. D.: Thirty years and counting: Finding meaning in the N400 component of the event-related brain potential (ERP). Annu. Rev. Psychol. 62 (2011), 621-647

Kutas, M.; Hillyard, S. A.: Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity. Science 207 (1980), 4427, 203-205

Kutas, M.; Iragui, V.: The N400 in a semantic categorization task across 6 decades. Electroencephalography and clinical Neurophysiology 108 (1998), 456-471

Larson, M. J.; Baldwin, S. A.; Good, D. A.; Fair, J. E.: Temporal stability of the error-related negativity (ERN) and post-error positivity (Pe): The role of number of trials. Psychophysiology 47 (2010), 1167-1171

Lee, F.J.; Taatgen, N.A.: Multi-tasking as skill acquisition. Proceedings of the twenty-fourth annual conference of the cognitive science society. Mahwah, NJ: Erlbaum 2002, 572-577

Lehle, C.; Steinhauser, M.; Hübner, R.: Serial or parallel processing in dual tasks: What is more effortful? Psychophysiology 46 (2009), 3, 502-509

Levy, J.; Pashler, H.: Is dual-task slowing instruction dependent? Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance 27 (2001), 4, 862-869

Li, C.-S. R.; Huang, C.; Constable, R. T.; Sinha, R.: Imaging response inhibition in a stop-signal task: Neural correlates independent of signal monitoring and post-response processing. Journal of Neuroscience 26 (2006), 186-192

Li, K. Z. H.; Krampe, R. T.; Bondar, A.: An ecological approach to studying aging and dual-task performance. In: Engle, R. W.; Sedek, G.; von Hecker, U.; McIntosh, D. N. (Hrsg.): Cognitive limitations in aging and psychopathology. Cambridge University Press, 190-218

Liepelt, R.; Fischer, R.; Frensch, P. A.; Schubert, T.: Practice-related reduction of dual-task costs under conditions of a manual-pedal response combination. *Journal of Cognitive Psychology* 23 (2011), 1, 29-44

Maier, M. E.; di Pellegrino, G.; Steinhauser, M.: Enhanced error-related negativity on flanker errors: Error expectancy or error significance? *Psychophysiology*, 49 (2012), 899-908.

Mathewson, K.; Dywan, J.; Segalowitz, S. J.: Brain bases of error-related ERPs as influenced by age and task. *Biological Psychology* 70 (2005), 88-104

Meyer, D.; Kieras, D.: A computational theory of executive cognitive processes and multiple-task performance: Part 1. Basic mechanisms. *Psychological Review* 104 (1997a), 1, 3-65

Meyer, D.; Kieras, D.: A computational theory of executive cognitive processes and multiple-task performance: Part 2. Accounts of psychological refractory period phenomena. *Psychological Review* 104 (1997b), 4, 749-791

McLeod, P.: A dual task response modality effect: Support for multiprocessor models of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 29 (1977), 4, 651-667

Miltner, W. H. R.; Braun, C. H.; Coles, M. G. H.: Event-related brain potentials following incorrect feedback in a time-estimation task: Evidence for a „generic“ neural system for error detection. *Journal of Cognitive Neuroscience* 9 (1997), 6, 788-798

Müller, A.; Candrian, G.; Kropotov, J.: ADHS Neurodiagnostik in der Praxis. Berlin: Springer 2011

Navon, D.; Gopher, D.: On the economy of the human processing system. *Psychological Review* 86 (1979), 214-253

Nieuwenhuis, S.; Ridderinkhof, K. R.; Blom, J.; Band, G. P. H.; Kok, A.: Error-related brain potentials are differentially related to awareness of response errors: Evidence from an antisaccade task. *Psychophysiology* 38 (2001), 752-760

Neumann, O.: Theorien der Aufmerksamkeit. In: Neumann, O.; Sanders, A. F. (Hrsg.): Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich C Theorie und Forschung. Serie II Kognition. Bd. 2 Aufmerksamkeit. Göttingen: Hogrefe 1996, 559-643

Nyberg, L.; Nilsson, L.-G.; Olofsson, U.; Bäckman, L.: Effects of division of attention during encoding and retrieval on age differences in episodic memory *Journal of Experimental Psychology* 23 (1997), 2, 137-143

Oberauer, K.; Kliegl, R.: Simultaneous cognitive operations in working memory after dual-task practice. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 30 (2004), 4, 689-707

Oldfield, R. C.: The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 9 (1971), 1, 97-113

Ophir, E.; Nass, C.; Wagner, A. D.: Cognitive control in media multitaskers. *The Proceedings of the National Academy of Sciences* 106 (2009), 37, 15583-15587

Pannebakker, M. M.; Jolicoeur, P.; Van Dam, W. O.; Band, G. P. H.; Ridderinkhof, K. R.; Hommel, B.: Mental rotation impairs attention shifting and short-term memory encoding: Neurophysiological evidence against the response-selection bottleneck model of dual-task performance. *Neuropsychologia* 49 (2011), 2985-2993

Paridon, H.: Multitasking in realitätsnahen Situationen: Wirkungen auf Leistung, subjektives Empfinden und physiologische Parameter. *ErgoMed* 4 (2010), 34, 114-121

Pashler, H.: Processing stages in overlapping tasks: Evidence for a central bottleneck. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10 (1984), 3, 358-377

Pashler, H.: Dual-task interference in simple tasks: data and theory. *Psychological Bulletin* 116 (1994a), 2, 220-244

Pashler, H.: Graded capacity-sharing in dual-task interference? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20 (1994b), 2, 330-342

Pashler, H.: Attentional limitations in doing two tasks at the same time. *Current Directions in Psychological Science* 1 (1992), 2, 44-48

Pollmann, S.: *Allgemeine Psychologie*. München: Ernst Reinhardt Verlag 2008

Rabbitt, P.; Rodgers, B.: What does a man do after he makes an error? An analysis of response programming. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 29 (1977), 4, 727-743

Riby, L. M.; Perfect, T.J.; Stollery, B. T.: The effects of age and task domain on dual task performance: A meta-analysis. *European Journal of Cognitive Psychology* 16 (2004), 6, 863-891

Ruthruff, E.; Hazeltine, E.; Remington, R. W.: What causes residual dual-task interference after practice? *Psychological Research* 70 (2006), 494-503

Ruthruff, E.; Johnston, J. C.; Van Selst, M.: Why practice reduces dual-task interference. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 27 (2001a), 1, 3-21

- Ruthruff, E.; Pashler, H. E.; Hazeltine, E.: Dual-task interference with equal task emphasis: Graded capacity sharing or central postponement? *Perception & Psychophysics* 65 (2003), 5, 801-816
- Ruthruff, E.; Pashler, H. E.; Klaassen, A.: Processing bottlenecks in dual-task performance: Structural limitation or strategic postponement? *Psychonomic Bulletin & Review* 8 (2001b), 1, 73-80
- Salthouse, T. A.: A theory of cognitive aging. Amsterdam: North-Holland 1985
- Scheffers, M. K.; Coles, M. G. H.: Performance monitoring in a confusing world: Error-related brain activity, judgments of response accuracy, and types of errors. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 26 (2000), 1, 141-151
- Schreiber, M.; Pietschmann, M.; Kathmann, N.; Endrass, T.: ERP correlates of performance monitoring in elderly. *Brain and Cognition* 76 (2011), 1, 131-139.
- Schumacher, E. H.; Seymour, T. L.; Glass, J. M.; Fencsik, D. E.; Lauber, E. J.; Kieras, D. E.; Meyer, D. E.: Virtually perfect time sharing in dual-task performance: Uncorking the central cognitive bottleneck. *Psychological Science* 12 (2001), 2, 101-108
- Sit, R. A.; Fisk, A. D.: Age-related performance in a multiple-task environment. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* 41 (1999), 26, 26-34
- Sommer, W.; Hohlfeld, A.: Overlapping tasks methodology as a tool for investigating language perception. In: Z. Breznitz (Hrsg.): *Brain Research in Language* 1 (2008), 125-152
- Steinhauser, M.; Yeung, N.: Decision processes in human performance monitoring. *The Journal of Neuroscience* 30 (2010), 46, 15643-15653
- Sternberg, S.: The discovery of processing stages: Extensions of Donders' method. In: W. G. Koster (Hrsg.): *Attention and performance II. Acta Psychologica* 30 (1969), 276-315
- Strobach, T.; Frensch, P.; Müller, H. J.; Schubert, T.: Testing the limits of optimizing dual-task performance in younger and older adults. *Frontiers In Human Neuroscience* 6 (2012), 39, 1-12
- Tanaka, H.; Mochizuki, Y.; Masaki, H.; Takasawa, N.; Yamazaki, K.: A study of attentional resource of discrete and gradational allocation strategy using error-related negativity (ERN). *Shinrigaku Kenkyu* 76 (2005), 1, 43-50 [Abstract]. Online im Internet: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15962588> (2011-10-16).
- The UNB Writing Centre: The rise and fall of multitasking. Fredericton, NB Canada.

Tombu, M.; Jolicoeur, P.: A central capacity sharing model of dual-task performance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 29 (2003), 1, 3-18

Tombu, M.; Jolicoeur P.: Virtually no evidence for virtually perfect time-sharing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 30 (2004), 5, 795-810

Tombu, M.; Jolicoeur, P.: Testing the predictions of the central capacity sharing model. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 31 (2005), 4, 790-802

Tun, P. A.; Wingfield, A.: Does dividing attention become harder with age? Findings from divided attention questionnaire. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 2 (1995), 1, 39-66

Van Selst, M.; Jolicoeur, P.: Decision and response in dual-task interference. *Cognitive Psychology* 33 (1997), 3, 266-307

Van Selst, M.; Ruthruff, E.; Johnston, J. C.: Can practice eliminate the psychological refractory period effect? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 25 (1999), 5, 1268-1283

Van Veen, V.; Carter, C. S.: The timing of action-monitoring processes in the anterior cingulate cortex. *Journal of cognitive neuroscience* 14 (2002), 4, 593-602

Verhaeghen, P.; Steitz, D. W.; Sliwinski, M.J.; Cerella, J.: Aging and dual-task performance: A Meta-Analysis. *Psychology and Aging* 18 (2003), 3, 443-460

Watson, J. M.; Strayer, D. L.: Supertaskers: Profiles in extraordinary multitasking ability. *Psychonomic Bulletin & Review* 17 (2010), 4, 479-485

Welford, A. T. The 'psychological refractory period' and the timing of high-speed performance - a review and a theory. *British Journal of Psychology* 43 (1952), 1, 2-19

Wessel, J. R.: Kognitive und somatische Komponenten der bewussten Fehlerwahrnehmung. Dissertation thesis, Universität zu Köln. 2011 Online im Internet: <http://kups.ub.uni-koeln.de/4214/> (2011-12-27).

Wickens, C. D.: The structure of attentional resources. In: Nickerson, R. (Hrsg.): *Attention and performance VIII*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum 1980, 239-257

Wickens, C. D.: Multiple resources and performance prediction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science* 3 (2002), 2, 159-177

Wickens, C. D.: Multiple resources and mental workload. *Human Factors* 50 (2008), 3, 449-455

Wickens, C. D.; Gopher, D.: Control theory measures of tracking as indices of attention allocation strategies. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* 19 (1977), 4, 349-365

Wickens, C.D.; Liu, Y.: Codes and modalities in multiple resources: a success and a Qualification. *Human Factors* 30 (1988), 5, 599-616

Wickens, C. D.; Sandry, D. L.; Vidulich, M.: Compatibility and resource competition between modalities of input, central processing, and output. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* 25 (1983), 2, 227-248

Wild-Wall, N.; Falkenstein, M.: Age-dependent impairment of auditory processing under spatially focused and divided attention: An electrophysiological study. *Biological Psychology* 83 (2010), 27-36

Wild-Wall, N.; Hahn, M.; Falkenstein, M.: Preparatory processes and compensatory effort in older and younger participants in a driving-like dual task. *Human Factors* 53 (2011), 2, 91-102

Willoughby, A. R.; Swick, D.: Does multitasking affect action monitoring? (2007). Online im Internet: <http://galvanisfrog.com/DLs/Willoughby%20&%20Swick%20CNS2007%20Poster.pdf> (2011-10-16).

Zhang, Y.; Goonetilleke, R. S.: Time orientation and multitasking. Proceedings of the IFAC/IFIP/IFORS/IEY Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems (September 7-9, 2004), Atlanta, GA, USA. Online im Internet: <http://repository.ust.hk/dspace/bitstream/1783.1/2418/1/goonetilleke.pdf> (2011-10-16).

Zschocke, S.; Hansen, H.-C.: *Klinische Elektroenzephalographie*. Berlin: Springer 2012

# Anhang

## Anhang 1 Schriftlich erfragte Einschlusskriterien

Liebe Studieninteressenten,  
vielen Dank für Ihre Bereitschaft an unserer Untersuchung teilzunehmen.

Könnten Sie aber bitte noch angeben, ob die unten aufgeführten Angaben auf Sie zutreffen:

1. Muttersprachler (bzw. spätestens mit 3 Jahren nach Deutschland gezogen)
2. Kein Schädel-Hirn-Trauma in Vergangenheit
3. Keine neurologischen Erkrankungen
4. Keine psychiatrischen Erkrankungen
5. Kein Drogenkonsum
6. Keine zentral wirksamen Medikamente (ggf. informieren Sie uns über Ihre Medikation)
7. Keine bekannte Pflasterallergie
8. Keine Hautkrankheiten (Schuppenflechte etc.)

Falls in Ihrer Antwortmail noch nicht angegeben, ergänzen Sie bitte auch Ihr Alter und Ihr Geschlecht.

Wir freuen uns über Ihre baldige Antwort und hoffentlich bis bald.

**Anhang 2 Aktuelle Berufssituation der Probanden pro Altersgruppe**

<b>Berufssituation</b>	<b>Probandengruppe der 20- bis 35- Jährigen</b>	<b>Probandengruppe der 50- bis 65- Jährigen</b>
erwerbstätig	10	15
Ausbildung/Studium/Umschulung	7	0
Rente	0	3
arbeitslos	4	2

### Anhang 3 Liste der Synonym- bzw. Nicht-Synonympaare (übernommen von Hohlfeld et al., 2004b)

---

Abfall–Müll/ Barriere	Fest–Party/ Denkmal	Pforte–Tor/ Vortrag
Abscheu–Ekel/ Narkose	Fliese–Kachel/ Kamerad	Räuber–Dieb/ Hospital
Almosen–Gabe/ Stapel	Freund–Kamerad/ Kachel	Rauch–Qualm/ Defekt
Anfall–Kollaps/ Bulle	Gefangener–Häftling/ Einfall	Rechner–Computer/ Fußgänger
Andenken–Souvenir/ Monster	Geldschrank–Tresor/ Trage	Rede–Vortrag/ Tor
Arznei–Medikament/ Schwur	Genehmigung–Erlaubnis/ Eile	Rentner–Pensionär/ Dessert
Aufzug–Fahrstuhl/ Geländer	Geschäft–Laden/ Dialog	Restaurant–Gaststätte/ Wagnis
Ausweis–Pass/ Wut	Gespräch–Dialog/ Laden	Risiko–Wagnis/ Dieb
Axt–Beil/ Fährte	Gewinn–Profit/ Dolmetscher	Ruder–Paddel/ Konditor
Bäcker–Konditor/ Paddel	Gockel–Hahn/ Strick	Ruhe–Stille/ Geburt
Bahre–Trage/ Tresor	Haufen–Stapel/ Gabe	Salbe–Creme/ Kordel
Begabung–Talent/ Kiste	Hast–Eile/ Korrektur	Schachtel–Kiste/ Talent
Beifall–Applaus/ Qualm	Hindernis–Barriere/ Müll	Schaden–Defekt/ Matrose
Belästigung–Plage/ Kleber	Hochzeit–Vermählung/ Frikadelle	Schiene–Gleis/ Gefecht
Berichtigung–Korrektur/ Gehalt	Hocker–Schemel/ Kappe	Schlamm–Matsch/ Piano
Besitz–Eigentum/ Mut	Idee–Einfall/ Kosmos	Schlips–Krawatte/ Karneval
Betäubung–Narkose/ Fleischer	Illustrierte–Magazin/ Kognak	Schmutz–Dreck/ Brauch
Beutel–Tasche/ Küste	Insel–Eiland/ Garn	Schnuller–Nuckel/ Acker
Boot–Kahn/ Kerker	Kampf–Gefecht/ Gleis	Schnur–Kordel/ Creme
Boulette–Frikadelle/ Vermählung	Klavier–Piano/ Matsch	Seemann–Matrose/ Resultat
Brüstung–Geländer/ Fahrstuhl	Krankenhaus–Hospital/ Chauffeur	Seil–Strick/ Hahn
Chef–Boss/ Proviant	Kredit–Darlehen/ Tribüne	Senf–Mostrich/ Backpfeife
Diener–Butler/ Zeppelin	Lärm–Krach/ Gewinner	Sieger–Gewinner/ Krach
Dose–Büchse/ Apfelsine	Latte–Brett/ Erlaubnis	Sitte–Brauch/ Dreck
Eid–Schwur/ Medikament	Leim–Kleber/ Plural	Socke–Strumpf/ Geige
Einzelheit–Detail/ Gaststätte	Limonade–Brause/ Plage	Spur–Fährte/ Beil
Empore–Tribüne/ Darlehen	Lohn–Gehalt/ Brett	Stier–Bulle/ Kollaps
Entbindung–Geburt/ Stille	Luftschiff–Zeppelin/ Butler	Tapferkeit–Mut/ Kontinent
Entfernung–Distanz/ Pass	Mauer–Wand/ Experiment	Übersetzer–Dolmetscher/Profit
Erdteil–Kontinent/ Eigentum	Mehrzahl–Plural/ Ekel	Ufer–Küste/ Tasche
Ergebnis–Resultat/ Detail	Metzger–Fleischer/ Brause	Ungeheuer–Monster/ Souvenir
Etage–Stockwerk/ Quartier	Mohrrübe–Karotte/ Pelz	Unterkunft–Quartier/ Stockwerk
Examen–Prüfung/ Botschaft	Monument–Denkmal/ Party	Verlies–Kerker/ Kahn
Faden–Garn/ Eiland	Mütze–Kappe/ Schemel	Verpflegung–Proviant/ Boss
Fahrer–Chauffeur/ Applaus	Nachricht–Botschaft/ Prüfung	Versuch–Experiment/ Wand
Farmer–Bauer/ Tonne	Nachspeise–Dessert/ Pensionär	Violine–Geige/ Strumpf
Fasching–Karneval/ Krawatte	Ohrfeige–Backpfeife/ Mostrich	Weinbrand–Kognak/ Magazin
Fass–Tonne/ Bauer	Orange–Apfelsine/ Büchse	Weltall–Kosmos/ Häftling
Feld–Acker/ Nuckel	Parkhaus–Garage/ Symbol	Zeichen–Symbol/ Garage
Fell–Pelz/ Karotte	Passant–Fußgänger/ Computer	Zorn–Wut/ Distanz

---

## Anhang 4 Fragebogen zum aktuellen Zustand

### Fragebogen zum aktuellen Zustand

1. Ist Ihre Sehschärfe gut bzw. gut korrigiert?  
ja    nein
2. Haben Sie in der letzten Nacht ausreichend geschlafen?  
ja    nein  
Wie viele Stunden? \_\_\_\_\_
3. Welche Medikamente haben Sie in den letzten 24 Std. eingenommen?  
\_\_\_\_\_
4. Trinken Sie regelmäßig Kaffee?  
ja    nein  
Wie viele Tassen durchschnittlich pro Woche? \_\_\_\_\_
5. Rauchen Sie regelmäßig?  
ja    nein  
Wenn ja, wie viele Zigaretten pro Tag? \_\_\_\_\_
6. Trinken Sie regelmäßig Alkohol?  
ja    nein  
Wenn ja, wie viel durchschnittlich pro Woche? \_\_\_\_\_
7. Haben Sie in den letzten 24 Std. Alkohol getrunken?  
ja    nein
8. Haben Sie in den letzten 24 Std. Drogen konsumiert?  
ja    nein
9. Wie würden Sie Ihren aktuellen gesundheitlichen Zustand einschätzen?  
„gut“            „leicht eingeschränkt“            „schlecht“
10. Stehen Sie heute unter zeitlichem Druck (Termine, Aufgaben, Verpflichtungen)?  
ja    nein

## Anhang 5 Oldfield-Fragebogen

### Oldfield – Fragebogen

Mit welcher Hand werden die aufgeführten Tätigkeiten bevorzugt ausgeführt?

X: bevorzugt

XX: immer

X in beiden Spalten: unsicher

<b>Aktivitäten</b>	<b>linke Hand</b>	<b>rechte Hand</b>
Schreiben		
Zeichnen		
Werfen		
Schneiden		
Zähne putzen		
Messer (ohne Gabel)		
Löffel		
Besen (obere Hand)		
Schlaghand (beim Spiel)		
Behälter öffnen		

## Anhang 6 Fragebogen zur simultanen Mediennutzung (nach Ophir et al., 2009)

### Fragebogen zur simultanen Mediennutzung

#### Persönliche Angaben

Bitte tragen Sie Ihren Namen ein

---

Geschlecht:

männlich

weiblich

Alter

---

Ist Deutsch Ihre Muttersprache?

Ja

Nein

## 1. Lesen

Lesen Sie Printmedien (entweder beruflich oder privat)? *Dazu zählen Bücher, Zeitungen, Zeitschriften, Magazine, traditionelle Post etc.*

Ja  Nein (Falls Sie mit "Nein" antworten, blättern Sie bitte *gleich zur Seite 3*)

Wie viele Stunden pro Woche verbringen Sie in etwa mit dieser Tätigkeit? *Bitte zählen Sie alle Stunden, egal, ob Sie ausschließlich dieser Tätigkeit nachgehen oder gleichzeitig noch andere Dinge tun.* \_\_\_\_\_

Während Sie Printmedien lesen, wie oft tun Sie die folgenden Tätigkeiten zur selben Zeit?

	nie	selten	manchmal	oft
Fernsehen, Video und/oder DVD sehen (mittels Fernseher)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Videos auf dem PC ansehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Musik hören	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hören von Audiomaterial, außer Musik (z.B. Radionachrichten, Podcasts etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Videospiele oder Computerspiele spielen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Telefonieren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Chatten (instant messaging)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Senden von Textnachrichten mit dem Mobiltelefon	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lesen / Schreiben von Emails	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Webseiten, PDFs und / oder digitale Dokumente lesen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Benutzen von anderen PC-Anwendungen (Textverarbeitung, Tabellenkalkulation, Programmieren etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gleichzeitiges Lesen anderer Printmedien	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 2. Fernsehen und Video

Gucken Sie Fernsehen? *Dazu zählen auch Videos und / oder DVDs, die mittels Fernseher angesehen werden (nicht mit dem PC).*

Ja  Nein (Falls Sie mit "Nein" antworten, blättern Sie bitte **gleich zur Seite 4**)

Wie viele Stunden pro Woche verbringen Sie in etwa mit dieser Tätigkeit? *Bitte zählen Sie alle Stunden, egal, ob Sie ausschließlich dieser Tätigkeit nachgehen oder gleichzeitig noch andere Dinge tun.* \_\_\_\_\_

Während Sie Fernsehen / Videos / DVDs gucken, wie oft tun Sie die folgenden Tätigkeiten zur selben Zeit?

	nie	selten	manchmal	oft
Videos auf dem PC ansehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Printmedien lesen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Musik hören	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hören von Audiomaterial, außer Musik (z.B. Radionachrichten, Podcasts etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Videospiele oder Computerspiele spielen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Telefonieren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Chatten (instant messaging)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Senden von Textnachrichten mit dem Mobiltelefon	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lesen / Schreiben von Emails	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Webseiten, PDFs und / oder digitale Dokumente lesen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Benutzen von anderen PC-Anwendungen (Textverarbeitung, Tabellenkalkulation, Programmieren etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zusätzlich Fernsehen / ein weiteres Video / DVD gucken	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### 3. Computer und Video

Gucken Sie Videos auf dem Computer? *Dazu zählen YouTube, Fernsehepisoden, DVDs, Online Vorträge / Vorlesungen, Videostreaming, etc.*

Ja  Nein (Falls Sie mit "Nein" antworten, blättern Sie bitte *gleich zur Seite 5*)

Wie viele Stunden pro Woche verbringen Sie in etwa mit dieser Tätigkeit? *Bitte zählen Sie alle Stunden, egal, ob Sie ausschließlich dieser Tätigkeit nachgehen oder gleichzeitig noch andere Dinge tun.* \_\_\_\_\_

Während Sie Videoinhalte auf einem Computer ansehen, wie oft tun Sie die folgenden Tätigkeiten zur selben Zeit?

	nie	selten	manchmal	oft
Printmedien lesen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fernsehen, Video und/oder DVD sehen (mittels Fernseher)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Musik hören	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hören von Audiomaterial, außer Musik (z.B. Radionachrichten, Podcasts etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Videospiele oder Computerspiele spielen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Telefonieren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Chatten (instant messaging)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Senden von Textnachrichten mit dem Mobiltelefon	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lesen / Schreiben von Emails	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Webseiten, PDFs und / oder digitale Dokumente lesen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Benutzen von anderen PC-Anwendungen (Textverarbeitung, Tabellenkalkulation, Programmieren etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zusätzlich weitere Videos auf dem PC ansehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

#### 4. Musik

Hören Sie Musik? *Dazu zählt das Hören von Musik mittels MP3 Player (z.B. iPod), CD, Radio, Internet oder PC, etc.*

Ja  Nein (Falls Sie mit "Nein" antworten, blättern Sie bitte **gleich zur Seite 6**)

Wie viele Stunden pro Woche verbringen Sie in etwa mit dieser Tätigkeit? *Bitte zählen Sie alle Stunden, egal, ob Sie ausschließlich dieser Tätigkeit nachgehen oder gleichzeitig noch andere Dinge tun.* \_\_\_\_\_

Während Sie Musik hören, wie oft tun Sie die folgenden Tätigkeiten zur selben Zeit?

	nie	selten	manchmal	oft
Printmedien lesen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fernsehen, Video und/oder DVD sehen (mittels Fernseher)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Videos auf dem PC ansehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hören von Audiomaterial, außer Musik (z.B. Radionachrichten, Podcasts etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Videospiele oder Computerspiele spielen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Telefonieren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Chatten (instant messaging)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Senden von Textnachrichten mit dem Mobiltelefon	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lesen / Schreiben von Emails	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Webseiten, PDFs und / oder digitale Dokumente lesen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Benutzen von anderen PC-Anwendungen (Textverarbeitung, Tabellenkalkulation, Programmieren etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zusätzlich andere Musik hören	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### 5. Audiomaterial - außer Musik

Hören sie Audiomaterial, außer Musik? *Dazu zählen Nachrichten, Sport, Hörbücher, etc.*

Ja  Nein (Falls Sie mit "Nein" antworten, blättern Sie bitte *gleich zur Seite 7*)

Wie viele Stunden pro Woche verbringen Sie in etwa mit dieser Tätigkeit? *Bitte zählen Sie alle Stunden, egal, ob Sie ausschließlich dieser Tätigkeit nachgehen oder gleichzeitig noch andere Dinge tun.* \_\_\_\_\_

Wenn Sie Audiomaterial (außer Musik) hören, wie oft tun Sie die folgenden Tätigkeiten zur selben Zeit?

	nie	selten	manchmal	oft
Printmedien lesen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fernsehen, Video und/oder DVD sehen (mittels Fernseher)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Videos auf dem PC ansehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Musik hören	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Videospiele oder Computerspiele spielen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Telefonieren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Chatten (instant messaging)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Senden von Textnachrichten mit dem Mobiltelefon	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lesen / Schreiben von Emails	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Webseiten, PDFs und / oder digitale Dokumente lesen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Benutzen von anderen PC-Anwendungen (Textverarbeitung, Tabellenkalkulation, Programmieren etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zusätzlich anderes Audiomaterial, außer Musik, hören	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 6. Videospiele

Spielen Sie Video- oder Computerspiele? *Dazu zählen Online-Rollenspiele, Multiplayer-Spiele, Portable-Spiele, alle Arten von Computerspielen, etc.*

Ja  Nein (Falls Sie mit "Nein" antworten, blättern Sie bitte *gleich zur Seite 8*)

Wie viele Stunden pro Woche verbringen Sie in etwa mit dieser Tätigkeit? *Bitte zählen Sie alle Stunden, egal, ob Sie ausschließlich dieser Tätigkeit nachgehen oder gleichzeitig noch andere Dinge tun.* \_\_\_\_\_

Während Sie Videospiele spielen, wie oft tun Sie die folgenden Tätigkeiten zur selben Zeit?

	nie	selten	manchmal	oft
Printmedien lesen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fernsehen, Video und/oder DVD sehen (mittels Fernseher)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Videos auf dem PC ansehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Musik hören	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hören von Audiomaterial, außer Musik (z.B. Radionachrichten, Podcasts etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Telefonieren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Chatten (instant messaging)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Senden von Textnachrichten mit dem Mobiltelefon	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lesen / Schreiben von Emails	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Webseiten, PDFs und / oder digitale Dokumente lesen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Benutzen von anderen PC-Anwendungen (Textverarbeitung, Tabellenkalkulation, Programmieren etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zusätzlich weitere Video- oder Computerspiele spielen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 7. Telefon

Telefonieren Sie? *Dazu zählen Festnetz- / Mobiltelefone, PC basierte Anrufe wie Voice over IP und Videokonferenzen mittels Skype oder iChat, etc.*

Ja  Nein (Falls Sie mit "Nein" antworten, blättern Sie bitte *gleich zur Seite 9*)

Wie viele Stunden pro Woche verbringen Sie in etwa mit dieser Tätigkeit? *Bitte zählen Sie alle Stunden, egal, ob Sie ausschließlich dieser Tätigkeit nachgehen oder gleichzeitig noch andere Dinge tun.* \_\_\_\_\_

Während Sie mit jemandem telefonieren, wie oft tun Sie die folgenden Tätigkeiten zur selben Zeit?

	nie	selten	manchmal	oft
Printmedien lesen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fernsehen, Video und/oder DVD sehen (mittels Fernseher)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Videos auf dem PC ansehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Musik hören	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hören von Audiomaterial, außer Musik (z.B. Radionachrichten, Podcasts etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Videospiele oder Computerspiele spielen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Chatten (instant messaging)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Senden von Textnachrichten mit dem Mobiltelefon	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lesen / Schreiben von Emails	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Webseiten, PDFs und / oder digitale Dokumente lesen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Benutzen von anderen PC-Anwendungen (Textverarbeitung, Tabellenkalkulation, Programmieren etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mit jemand Anderem am Telefon oder in einer Videokonferenz sprechen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 8. Instant Messaging / Chatten

Nutzen Sie Instant Messenger? Z.b. *textbasierte Instant Messenger Programme wie Google Talk, iChat, Skype (KEINE Sprach- / Videoanrufe), etc.*

Ja  Nein (Falls Sie mit "Nein" antworten, blättern Sie bitte *gleich zur Seite 10*)

Wie viele Stunden pro Woche verbringen Sie in etwa mit dieser Tätigkeit? *Bitte zählen Sie alle Stunden, egal, ob Sie ausschließlich dieser Tätigkeit nachgehen oder gleichzeitig noch andere Dinge tun.* \_\_\_\_\_

Wenn Sie Instant Messenger nutzen, wie oft tun Sie die folgenden Tätigkeiten zur selben Zeit?

	nie	selten	manchmal	oft
Printmedien lesen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fernsehen, Video und/oder DVD sehen (mittels Fernseher)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Videos auf dem PC ansehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Musik hören	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hören von Audiomaterial, außer Musik (z.B. Radionachrichten, Podcasts etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Videospiele oder Computerspiele spielen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Telefonieren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Senden von Textnachrichten mit dem Mobiltelefon	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lesen / Schreiben von Emails	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Webseiten, PDFs und / oder digitale Dokumente lesen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Benutzen von anderen PC-Anwendungen (Textverarbeitung, Tabellenkalkulation, Programmieren etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nutzen von Instant Messenger oder Chatten mit mehreren Personen gleichzeitig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

### 9. Textmitteilungen mit dem Mobiltelefon

Senden oder empfangen Sie Textmitteilungen / SMS? *Dazu zählt auch MMS ( Multimedia Messaging Service - wie z.B. Bildmitteilungen)*

Ja  Nein (Falls Sie mit "Nein" antworten, blättern Sie bitte **gleich zur Seite 11**)

Wie viele Textmitteilungen senden und bekommen Sie ungefähr pro Tag? \_\_\_\_\_ Beschreiben Sie Ihre Nutzung der Textmitteilungen (längere Unterhaltungen, kürzere Fragen / Antworten, nur gelegentlich eine kurze Information): \_\_\_\_\_

Wenn Sie Ihren Freunden eine Textmitteilung mit dem Mobiltelefon schreiben, wie oft tun Sie die folgenden Tätigkeiten zur selben Zeit?

	nie	selten	manchmal	oft
Printmedien lesen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fernsehen, Video und/oder DVD sehen (mittels Fernseher)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Videos auf dem PC ansehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Musik hören	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hören von Audiomaterial, außer Musik (z.B. Radionachrichten, Podcasts etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Videospiele oder Computerspiele spielen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Telefonieren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Chatten (instant messaging)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lesen / Schreiben von Emails	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Webseiten, PDFs und / oder digitale Dokumente lesen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Benutzen von anderen PC-Anwendungen (Textverarbeitung, Tabellenkalkulation, Programmieren etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Textmitteilungen mit mehreren Personen gleichzeitig austauschen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 10. Email

Lesen und schreiben Sie Emails? *Dazu zählen reguläre Emails und Webmails.*

Ja  Nein (Falls Sie mit "Nein" antworten, blättern Sie bitte *gleich zur Seite 12*)

Wie viele Stunden pro Woche verbringen Sie in etwa mit dieser Tätigkeit? *Bitte zählen Sie alle Stunden, egal, ob Sie ausschließlich dieser Tätigkeit nachgehen oder gleichzeitig noch andere Dinge tun.* \_\_\_\_\_

Wenn Sie eine E-Mail lesen oder schreiben, wie oft tun Sie die folgenden Tätigkeiten zur selben Zeit?

	nie	selten	manchmal	oft
Printmedien lesen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fernsehen, Video und/oder DVD sehen (mittels Fernseher)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Videos auf dem PC ansehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Musik hören	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hören von Audiomaterial, außer Musik (z.B. Radionachrichten, Podcasts etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Videospiele oder Computerspiele spielen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Telefonieren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Chatten (instant messaging)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Senden von Textnachrichten mit dem Mobiltelefon	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Webseiten, PDFs und / oder digitale Dokumente lesen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Benutzen von anderen PC-Anwendungen (Textverarbeitung, Tabellenkalkulation, Programmieren etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lesen und schreiben mehrerer Emails gleichzeitig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 11. Das Internet

Surfen Sie im Internet, lesen Webseiten, PDFs und / oder elektronische Dokumente?

Ja  Nein

Wie viele Stunden pro Woche verbringen Sie in etwa mit dieser Tätigkeit? Bitte zählen Sie alle Stunden, egal, ob Sie ausschließlich dieser Tätigkeit nachgehen oder gleichzeitig noch andere Dinge tun. \_\_\_\_\_

Wenn Sie Webseiten, PDFs und / oder elektronische Dokumente lesen, wie oft tun Sie die folgenden Tätigkeiten zur selben Zeit?

	nie	selten	manchmal	oft
Printmedien lesen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fernsehen, Video und/oder DVD sehen (mittels Fernseher)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Videos auf dem PC ansehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Musik hören	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hören von Audiomaterial, außer Musik (z.B. Radionachrichten, Podcasts etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Videospiele oder Computerspiele spielen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Telefonieren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Chatten (instant messaging)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Senden von Textnachrichten mit dem Mobiltelefon	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lesen / Schreiben von Emails	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Benutzen von anderen PC-Anwendungen (Textverarbeitung, Tabellenkalkulation, Programmieren etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lesen mehrerer Webseiten, PDFs und / oder digitaler Dokumente gleichzeitig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## Anhang 7 Fragebogen zur Einschätzung der Untersuchung

### Fragebogen zur Einschätzung der Untersuchung

1. Haben Sie die Aufgaben als zu langsam/schnell empfunden?

---

2. Haben Sie im Laufe der Untersuchung eine Bearbeitungsstrategie entwickeln können? Wenn ja, beschreiben Sie diese bitte kurz:

---

---

---

3. Ordnen Sie folgende Kriterien ihrer Wichtigkeit nach an

(1 = vorrangig, 2 = zweitrangig, 3 = am wenigsten wichtig):

- Bearbeitungsgeschwindigkeit „Es war mir insbesondere wichtig, schnell zu sein“
- Bearbeitungsgenauigkeit „Es war mir vor allem wichtig, richtig zu antworten“
- Bearbeitungsparallelität „Es war mir besonders wichtig, zeitgleich zu reagieren“

4. Ist es Ihnen gelungen beide Aufgaben gleichwertig zu bearbeiten?

Wenn nicht, welche der beiden Aufgaben haben Sie mit Priorität bearbeitet?

---

---

5. Können Sie sich an Situationen erinnern, bei denen ähnliche Anforderungen an Sie gestellt wurden (z. B. am PC arbeiten und gleichzeitig mit dem Chef telefonieren)?

## **Anhang 8 Werbeanzeige**

### **Multitasking im Altersvergleich**

Für unsere Diplomarbeit zum Thema „Multitasking“ suchen wir Probanden deutscher Muttersprache im Alter von 20 bis 35 sowie 50 bis 65 Jahren.

Dabei wird untersucht, wie jüngere und ältere Menschen durch Doppelaufgaben beansprucht werden und welche Auswirkungen dies auf die Qualität der Aufgabenerledigung hat.

Der Versuch dauert ca. 3 Stunden und wird mit einer Aufwandsentschädigung von 10 Euro pro Stunde vergütet.

### **Was wird getan?**

Während der Bearbeitung computergestützter Aufgaben, wird die elektrische Aktivität des Gehirns gemessen (Elektroenzephalografie). Die interessierenden Spannungsschwankungen werden an der Kopfoberfläche erfasst (keine Medikamente/ keine körperlichen Eingriffe).

### **Wann?**

Ab Mitte September.

### **Wo?**

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Nöldnerstraße 40-42

10317 Berlin

Kontakt: xxx

Email xxx

## Anhang 9 Einwilligungserklärung

### Einwilligungserklärung

Hiermit erkläre ich freiwillig meine Bereitschaft, als Versuchsperson an Untersuchungen und Befragungen im Rahmen

#### **der Studie „Multitasking im Altersvergleich“**

teilzunehmen.

Der Inhalt, der Ablauf, die Tragweite und die Risiken der Untersuchung wurden durch schriftliche und mündliche Informationen hinreichend verdeutlicht.

Durch meine Unterschrift gebe ich die Einwilligung, dass die von mir gemachten Angaben und die Untersuchungsergebnisse für die wissenschaftliche Auswertung benutzt werden dürfen. Alle Angaben werden streng vertraulich behandelt und unterliegen der ärztlichen Schweigepflicht. Die Ergebnisse werden nach Löschung von Namen und Adresse statistisch zusammengefasst und ausgewertet, so dass Rückschlüsse auf bestimmte Personen nicht möglich sind. Dabei wird grundsätzlich nach den Bestimmungen des Bundesdatenschutzgesetzes verfahren. Eine missbräuchliche Nutzung der Daten ist ausgeschlossen.

Ich verpflichte mich hiermit, mich während der Untersuchungen an die Anweisungen des Versuchsleiters / der Versuchsleiterin zu halten.

Mir ist bekannt, dass ich jederzeit ohne Begründung von der Untersuchung zurücktreten kann, ohne dass mir daraus Verpflichtungen oder persönliche Nachteile entstehen.

Über Art, Notwendigkeit, Durchführung und Risiken der Untersuchung wurde ich aufgeklärt. Ich bin mit der Teilnahme einverstanden.

Ich bin darauf hingewiesen worden, dass die Bundesrepublik Deutschland im Rahmen der Amtshaftung (Artikel 34 Satz 1 Grundgesetz i. V. m. § 839 Bürgerliches Gesetzbuch) für alle Schäden aufkommt, die ich im Zusammenhang mit der Untersuchung durch das schuldhafte (d.h. vorsätzliche oder fahrlässige) Handeln der Bediensteten erleide. Dabei habe ich als Geschädigter grundsätzlich die schuldhafte Amtspflichtverletzung zu beweisen. Mir ist ferner bekannt, dass ich für Schäden, die mir auf dem Weg von meiner Wohnung zum Untersuchungsort und zurück entstehen (sogenannter Wegeunfall), grundsätzlich keinen Schadenersatz von der Bundesrepublik Deutschland verlangen kann.

Es erfolgt eine Vergütung für die Teilnahme.

.....

Ort, Datum

.....

Unterschrift

## Anhang 10 Versuchsinstruktion

Sehr geehrte Teilnehmerin, Sehr geehrter Teilnehmer,

Herzlichen Dank für Ihr Interesse an unserer EEG-Studie.

Bitte lesen Sie die nachfolgende Anleitung zu unserem Versuch aufmerksam durch. Wir möchten Ihnen die beiden Aufgaben, die Sie gleich gestellt bekommen, genauer erklären.

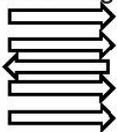
Immer gilt es dabei zu beachten, dass beide Aufgaben

- gleich wichtig
- gleichzeitig
- schnell

durchgeführt werden sollen.

### 1. Aufgabe:

- Auf dem Bildschirm erscheinen jeweils 5 Pfeile.
- Bitte achten Sie **nur** auf den mittleren Pfeil.
- **Zeigt der mittlere Pfeil nach links**, drücken sie mit dem **entsprechenden** Zeigefinger die **linke Taste**; nach rechts, die rechte Taste, usw.
- Wenn ein „Kreuz“ in der Mitte des Bildschirms erscheint, fixieren Sie dieses bitte mit Ihrem Blick und reagieren Sie wie üblich auf die danach kommenden Pfeile.
- Wichtiger Hinweis: Bei dieser Aufgabe geht es um die *Schnelligkeit!*
- Sollte der Bildschirmrahmen von grün auf **rot** umschalten, sollten Sie unbedingt **schneller** werden, damit der Rahmen wieder grün wird!



### 2. Aufgabe:

- Über Lautsprecher werden Wortpaare dargeboten.
- Wenn es sich bei diesen zwei Wörtern um **Synonyme** (Wörter mit gleicher Bedeutung) handelt, sagen Sie bitte „**Ja**“
- Sind die beiden Wörter **nicht** synonym (Wörter mit unterschiedlicher Bedeutung) sagen Sie bitte „**Nein**“.

Beide Aufgaben gilt es gleichzeitig und möglichst schnell zu erledigen!

### Allgemeine Hinweise zum EEG

- Bitte versuchen Sie während der Untersuchungszeit möglichst entspannt, ruhig und bequem zu sitzen
- Vermeiden Sie unnötige Körperbewegungen und Muskelanspannungen (Kopf, Kiefer, Nacken, Hände etc.)
- Schauen Sie bitte stets auf den Bildschirm (Pfeile, „Kreuz“), verdrehen Sie, wenn möglich, nicht die Augen und schauen Sie nicht unnötig zur Seite, nach oben/unten.

Es werden genug Pausen da sein, in denen Sie sich wieder lebhafter bewegen können.

In dringenden Fällen, sind wir immer über eine Gegensprechanlage für Sie erreichbar!