

Grit Hein: Lokalisation von Doppelaufgabendefiziten bei  
gesunden älteren Personen und neurologischen Patienten.  
Leipzig: Max Planck Institute of Cognitive Neuroscience, 2002  
(MPI Series in Cognitive Neuroscience; 24)

---

# **Lokalisation von Doppelaufgabendefiziten bei gesunden älteren Personen und neurologischen Patienten**

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades  
doctor rerum naturalium (Dr. rer. nat.) im Fach Psychologie

eingereicht an der  
Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät II  
der Humboldt-Universität zu Berlin

vorgelegt von  
Dipl.-Psych. Grit Hein, geboren am 23.12.1974 in Rodewisch

Dekan der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät II:  
Prof. Dr. Elmar Kulke

Gutachter:  
PD Dr. H. Hagedorf  
Prof. Dr. W. Sommer  
Prof. Dr. D.Y. von Cramon

Datum der Verteidigung: 10.05.2002

## **Danksagung**

Die vorliegende Arbeit stellt einen Brückenschlag zwischen Neuropsychologie und Kognitionspsychologie dar. Zum Gelingen dieses Brückenschlages haben viele Personen beigetragen. Mein herzlicher Dank gilt meinem Betreuer Dr. Torsten Schubert, der stets ein geduldiger und zuverlässiger Ansprechpartner war, mich in allen Phasen dieser Arbeit forderte und förderte und mir mit professionellem Rat zur Seite stand. Gedankt sei auch Prof. von Cramon, der als Leiter des Projektes „Kognitive Störungen bei Morbus Parkinson“ große klinische Erfahrung, den Blick „für das Wesentliche“ und materielle Ressourcen zur Verfügung stellte.

Darüber hinaus danke ich allen Probanden und vor allem den Patienten, die sich zur Durchführung der Experimente bereit erklärten. Die Untersuchung der Schädel-Hirn-Trauma Patienten wäre ohne das Engagement der Kolleginnen und Kollegen der Tagesklinik für kognitive Neurologie der Universität Leipzig nicht möglich gewesen. Hinter der Vermittlung und der sorgfältigen neurologischen Differentialdiagnostik der Parkinsonpatienten standen die folgenden ärztlichen Kooperationspartner: Dr. Mike Reuter (Diakoniekrankenhaus Zschadraß); Dr. Wieland Herrmann (Universitätsklinik Leipzig, Direktor: Prof. Wagner); Dr. Michael Jöbges (Neurologisches Rehabilitationszentrum Bennewitz, Direktor: Prof. Hummelsheim); Dr. Martina Müngersdorf und Dr. Antje Müller (Neurologische Ambulanz der Universitätsklinik Dresden, Direktor: Prof. Reichmann). Vielen Dank dafür !

Weiterhin möchte ich meiner Kollegin Katja Werheid für die gute Zusammenarbeit danken, die für eine angenehme und kreative Arbeitsatmosphäre während vieler gemeinsamer Bürostunden sorgte. Auch den studentischen Hilfskräften Laura Busse, Gundula Jänicke, Tina Jentsch und insbesondere Franziska Korb sei gedankt. Danke auch an die Mitarbeiter der Grafikabteilung für die Erstellung von Abbildungen und Postern sowie an Anke Pitzmaus und Corinna Koßack für die Organisation der Probanden- und Patiententermine.

Von ganzem Herzen möchte ich schließlich meiner Familie und besonders auch Christoph Henning danken. Aus ihrer liebevollen Unterstützung und ihrem stetigen Verständnis habe ich immer wieder Kraft geschöpft.

# **Inhaltsverzeichnis**

<b>1. EINLEITUNG</b>	<b>1</b>
<b>2. ÜBERBLICK ÜBER BISHERIGE UNTERSUCHUNGEN</b>	<b>9</b>
<b>KOGNITIONSPSYCHOLOGISCHER TEIL</b>	<b>15</b>
<b>Kapitel 1</b>	
<b>Theoretische Grundlagen des Untersuchungsansatzes</b>	<b>17</b>
1.1 Das Paradigma der Psychologischen Refraktärperiode	18
1.2 Anwendung der kritischen Pfadtechnik auf das Modell der Psychologischen Refraktärperiode	21
<b>Kapitel 2</b>	
<b>Doppelaufgabendefizite bei neurologisch gesunden älteren Personen</b>	<b>25</b>
2.1 Stand der Forschung	26
2.2 Experiment 1(a)	35
2.2.1 Fragestellung	35
2.2.2 Methode	35
2.2.3 Hypothesen	39
2.2.4 Ergebnisse	41
2.2.5 Diskussion zu Experiment 1(a)	47

2.3 Cross-Modale Interferenz Annahme	50
2.4 Experiment 1(b)	56
2.4.1 Fragestellung	56
2.4.2 Methode	56
2.4.3 Ergebnisse	57
2.4.4 Diskussion zu Experiment 1(b)	62
2.5 Diskussion des kognitionspsychologischen Teils	64
2.5.1 Parallele perzeptive Verarbeitung bei jungen und älteren Personen	64
2.5.2 Die Natur von Cross-Modaler Interferenz in der Doppelaufgabe	66
2.5.3 Alternative Ansätze	70

## **KLINISCHER TEIL** **77**

### **Kapitel 3** **Doppelaufgabendefizite bei Patienten nach traumatischer Hirnschädigung** **79**

3.1 Stand der Forschung	80
3.2 Experiment 2(a)	86
3.2.1 Fragestellung	86
3.2.2 Methode	86
3.2.3 Hypothesen	90
3.2.4 Ergebnisse	92
3.2.5 Diskussion zu Experiment 2(a)	97
3.3. Experiment 2(b)	99
3.3.1 Fragestellung	99
3.3.2 Methode	99
3.3.3 Ergebnisse	103
3.3.4 Diskussion zu Experiment 2(b)	108
3.4. Allgemeine Diskussion zu Unterschieden zwischen SHT-Patienten und gesunden jungen Personen	109
3.4.1 Parallele perzeptive Verarbeitung bei SHT-Patienten	109
3.4.2 Diskussion des akzentuierten PRP-Effektes bei SHT-Patienten	111

<b>Kapitel 4</b>	
<b>Doppelaufgabendefizite bei Parkinsonpatienten</b>	<b>115</b>
4.1 Stand der Forschung	116
4.2 Experiment 3(a)	122
4.2.1 Fragestellung	122
4.2.2 Methode	122
4.2.3 Hypothesen	126
4.2.4 Ergebnisse	127
4.2.5 Diskussion der Ergebnisse von Experiment 3(a)	132
4.3 Experiment 3(b)	134
4.3.1 Fragestellung	134
4.3.2 Methode	134
4.3.3 Ergebnisse	138
4.3.4 Diskussion zu Experiment 3(b)	142
4.4 Allgemeine Diskussion zu Unterschieden zwischen Parkinsonpatienten und gesunden älteren Personen	144
4.4.1 Parallele perzeptive Verarbeitung bei Parkinsonpatienten	144
4.4.2 Akzentuierter PRP-Effekt bei Parkinsonpatienten	147
<b>Kapitel 5</b>	
<b>Abschliessende Diskussion</b>	<b>151</b>
<b>Ausblick</b>	<b>161</b>
<b>ANHANG</b>	<b>165</b>
<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>179</b>



## **1. Einleitung**

**Einführung des Untersuchungsgegenstandes** Die simultane Ausführung mehrerer Tätigkeiten ist eine höchst alltagsrelevante, jedoch keinesfalls banale Anforderung. Eine Beispielsituation ist die Zubereitung eines mehrgängigen Menues. Während das Fleisch in der Pfanne gewendet und das Gemüse geschnitten werden muß, ist das Dessert kaltzustellen. Der Salat muß gewaschen und das Salatdressing angerührt werden. Dabei ist darauf zu achten, daß die Kartoffeln nicht überkochen. Gleichzeitig hören wir noch die Wettervorhersage im Radio.

Eine Situation wie die oben geschilderte stellt sicher für den ungeübten Koch eine Herausforderung dar, kann jedoch von jeder gesunden Person bewältigt werden. Anders ist dies bei einer Vielzahl neurologischer Patienten. Die klinisch-neuropsychologische Praxis zeigt, daß viele neurologische Patienten im Gegensatz zu gesunden Personen bereits Probleme haben, wenn nur zwei Aufgaben simultan auszuführen sind. Diese Einschränkungen in Doppelaufgabensituationen werden beobachtet, obwohl die entsprechenden Patienten sensorisch und motorisch zur Ausführung der einzelnen Aufgaben in der Lage sind, wenn diese separat voneinander dargeboten werden.

## *EINLEITUNG*

Besonders ausgeprägte Defizite bei der Ausführung von Doppelaufgaben werden für Patienten beschrieben, die in Folge eines Schädel-Hirn-Traumas (SHT) frontal akzentuierte Läsionen erlitten haben (Azouvi, Jokic, Van der Linden, Marlier & Bussel, 1996; McDowell, Whyte & D'Esposito, 1997; Park, Moscovitch & Robertson, 1999; Vilkki, Virtanen, Suma-Aho & Servo, 1996). Die beobachteten Doppelaufgaben-defizite bei SHT-Patienten wurden bisher mit einer Einschränkung von Exekutiv-funktionen erklärt. Dieser Erklärungsansatz ist jedoch sehr unspezifisch, da keine Aussagen darüber getroffen werden können, an welcher Stelle der Doppelaufgaben-verarbeitungsprozeß bei SHT-Patienten eingeschränkt ist. Prinzipiell könnten sowohl Einschränkungen an frühen Stufen der Doppelaufgabenverarbeitung, als auch Defizite an zentralen oder späten Verarbeitungsstufen zur Beeinträchtigung der generellen Doppelaufgabenperformanz bei SHT-Patienten führen. Wenn spezifische Ein-schränkungen im Doppelaufgabenverarbeitungsprozeß bei SHT-Patienten lokalisiert werden könnten, würde dies den Erkenntnisstand über die Natur von Doppelaufgaben-defiziten nach traumatischer Hirnschädigung entscheidend erweitern.

In bisherigen Doppelaufgabenstudien mit SHT-Patienten konnte eine solche Lokalisation von spezifischen Einschränkungen im Doppelaufgabenverarbeitungs-prozeß aus methodischen Gründen nicht erfolgen. Es wurden Doppelaufgaben aus sehr komplexen Einzelaufgaben verwendet, die eine Untersuchung von spezifischen Defiziten in der Doppelaufgabenverarbeitung nicht erlaubten. Die Verwendung komplexer Einzelaufgaben wurde damit begründet, daß Doppelaufgaben aus komplexen Einzelaufgaben die Komplexität alltagsrelevanter Anforderungen besser abzubilden vermögen (Burgess, Veitch, de Lacy Costello, & Shallice, 2000). Dem ist entgegenzuhalten, daß die Verwendung komplexer Einzelaufgaben gerade bei neuro-logischen Patienten zu Defiziten in den Einzelaufgaben führen könnte, die nicht von doppelaufgabenspezifischen Defiziten abgrenzbar sind. Somit konnten auf der Basis

## *EINLEITUNG*

komplexer Untersuchungsparadigmen keine klaren Aussagen über Einschränkungen in der Doppelaufgabenverarbeitung bei SHT-Patienten getroffen werden (siehe 2.).

**Herleitung des aktuellen Ansatzes und der aktuellen Fragestellung** In der vorliegenden Arbeit sollten die methodischen Beschränkungen vorangegangener Studien überwunden und somit der Erkenntnisstand über die Natur von Doppelaufgabendefiziten bei SHT-Patienten erweitert werden. Daher wurde ein Untersuchungsansatz verwendet, der auf der Darbietung von Doppelaufgaben aus einfachen Einzelaufgaben basiert, und eine Lokalisation von Defiziten im Doppelaufgabenverarbeitungsprozeß bei Patienten erlaubt. Ein solcher Ansatz ist das experimentalpsychologische Paradigma der Psychologischen Refraktärperiode (PRP; siehe Abschnitt 1.1). Bisher wurde das PRP-Paradigma zur Untersuchung von Mechanismen und Prozessen der Doppelaufgabenverarbeitung bei jungen gesunden Personen eingesetzt. Die Erweiterung des PRP-Paradigmas auf die Untersuchung von SHT-Patienten ermöglicht es, Mechanismen und Prozesse der Doppelaufgabenverarbeitung von SHT-Patienten und jungen gesunden Personen zu kontrastieren. Dies sollte Aufschluß über Unterschiede in der Doppelaufgabenverarbeitung zwischen jungen gesunden Personen und SHT-Patienten geben, und so zur Lokalisation von Einschränkungen im Doppelaufgabenverarbeitungsprozeß nach traumatischer Hirnschädigung beitragen.

## *EINLEITUNG*

Ein wichtiger Befund aus allgemeinspsychologischen Untersuchungen mit dem PRP-Paradigma ist, daß die einfache<sup>1</sup> perzeptive Verarbeitung von Reizen verschiedener Reizmodalitäten in der Doppelaufgabe<sup>2</sup> bei jungen gesunden Personen parallel verläuft (DeJong, 1993; Pashler & Johnston, 1989). Dies bedeutet, daß zwischen den Perzeptionsverarbeitungsstufen der verschiedenen Reize keine gegenseitige Beeinflussung im Sinne einer Interferenz auftritt (Ashby & Townsend, 1980).

Wenn man sich vor Augen führt, daß die perzeptive Verarbeitung der Reize den Beginn aller Informationsverarbeitungsprozesse in der Doppelaufgabensituation darstellt, kann angenommen werden, daß eine Störung der parallelen perzeptiven Verarbeitung die generelle Doppelaufgabenperformanz negativ beeinflussen sollte. Somit könnte eine Störung der parallelen perzeptiven Verarbeitung durch perzeptive Interferenz eine wichtige Quelle für Doppelaufgabedefizite bei SHT-Patienten darstellen.

Bislang ist es eine offene Frage, ob die parallele perzeptive Verarbeitung in der Doppelaufgabe bei SHT-Patienten gestört ist. Dieser unbefriedigende Erkenntnisstand ist darauf zurückzuführen, daß in vorangegangenen Studien Untersuchungsansätze verwendet wurden, die eine Lokalisation erhöhter perzeptiver Interferenz in der Doppelaufgabe bei SHT-Patienten nicht erlaubten (z.B. Stablum, Leonardi, Mazzoldi, Umilta & Morra, 1994). In der Studie von Stablum et al. (1994) hatten SHT-Patienten und Kontrollpersonen beispielsweise simultan die Position eines visuellen Reizes (links-rechts) zu bestimmen und zu entscheiden, ob sich die Reize gleichen oder unterscheiden. Stablum et al. (1994) erklärten die verschlechterte Doppelaufgaben-

---

<sup>1</sup> Dies bezieht sich auf die einfache Detektion von Reizen. Dagegen wurde perzeptive Interferenz auch bei jungen Personen nachgewiesen, wenn vier visuelle Reize zu kategorisieren waren (A,a = Kategorie A; E,e = Kategorie E) oder entschieden werden mußte, ob die dargebotenen Buchstaben den gleichen Namen haben (DeJong, 1993; Experimente 3 und 5).

<sup>2</sup> Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird für „parallele perzeptive Verarbeitung von Reizen verschiedener Reizmodalitäten in der Doppelaufgabe“ fortan in der Regel „parallele perzeptive Verarbeitung“ verwendet.

## *EINLEITUNG*

performanz der SHT-Patienten im Vergleich zur Kontrollgruppe mit einer Einschränkung exekutiver Kontrollprozesse. Alternativ könnte jedoch angenommen werden, daß erhöhte Interferenz an der perceptiven Verarbeitungsstufe zur Beeinträchtigung der Doppelaufgabenperformanz bei SHT-Patienten beitrug, da in der Doppelaufgabe die simultane Verarbeitung visueller Reize verlangt wurde. Wie der Großteil der bisher vorliegenden Studien erlaubte auch der Untersuchungsansatz von Stablum et al. jedoch nicht, Interferenz zwischen Verarbeitungsprozessen der Doppelaufgabe zu untersuchen. Somit könnte eine Erhöhung perceptiver Interferenz in der Doppelaufgabe eine Quelle für Doppelaufgabendefizite bei SHT-Patienten darstellen, die bisher schlichtweg übersehen wurde.

**Fragestellung** In der vorliegenden Arbeit soll untersucht werden, ob SHT-Patienten wie junge gesunde Personen zur parallelen perceptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe fähig sind, oder ob die parallele perceptiv Verarbeitung durch erhöhte perceptiv Interferenz gestört ist.

Die parallele perceptiv Verarbeitung bei SHT-Patienten wird im Rahmen eines experimentalpsychologischen Ansatzes untersucht, der auf dem PRP-Paradigma basiert. Die vorliegende Arbeit wird zeigen, daß die Anwendung experimentalpsychologischer Ansätze auf eine klinisch relevante Fragestellung sowohl die neuropsychologische als auch die kognitionspsychologische Forschung bereichert.

## *EINLEITUNG*

Aus kognitionspsychologischer Perspektive können die hirnorganischen Veränderungen neurologischer Patienten als eine zusätzliche experimentelle Manipulation betrachtet werden. Der Test kognitionspsychologischer Doppelaufgabenmodelle unter neurologischen „Extrembedingungen“ kann zu einem tieferen Verständnis genereller Mechanismen und Prozesse der Doppelaufgabenverarbeitung sowie deren neuronaler Implementierung führen.

Aus der neuropsychologischen Perspektive sollte die Anwendung eines experimentalpsychologischen Ansatzes, der die Lokalisation spezifischer Defizite in der Doppelaufgabenverarbeitung erlaubt, zur Aufklärung von Problemen neurologischer Patienten in Doppelaufgabensituationen beitragen.

**Einführung der untersuchten Personengruppen** Zur Untersuchung der Frage, ob SHT-Patienten wie junge gesunde Personen zur parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe fähig sind, wurden junge Patienten nach traumatischer Hirnschädigung und junge gesunde Personen gegenübergestellt.

Typisch für die pathologische Veränderungen bei SHT-Patienten ist die Kombination fokaler und diffuser Gewebsläsionen, welche oft im frontalen Cortex akzentuiert sind (siehe 3.1).

Neben SHT-Patienten wurde eine klinische Kontrollgruppe von Parkinsonpatienten untersucht. Schwerpunkt der Parkinson'schen Krankheit ist eine Beeinträchtigung der Basalganglienfunktion (siehe 4.1). Durch die Gegenüberstellung von SHT-Patienten und Parkinsonpatienten können Aussagen darüber getroffen werden, ob frontal akzentuierte Gewebsläsionen bzw. eine funktionale Störung subkortikaler Areale zur Beeinträchtigung der parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe beitragen.

## *EINLEITUNG*

Sowohl SHT-Patienten als auch Parkinsonpatienten wurden mit altersparallelisierten neurologisch gesunden Kontrollpersonen verglichen. Während die SHT-Gruppe aus jungen Patienten bestand, tritt die Parkinson'sche Erkrankung meist zwischen dem 50zigsten und 60zigsten Lebensjahr auf. Folglich wurden als Kontrollpersonen zu den Parkinsonpatienten gesunde ältere Personen untersucht. Zusätzlich liegt der Untersuchung gesunder älterer Personen ein methodischer Aspekt zugrunde. Experimentalpsychologische Paradigmen werden für junge gesunde Personen entwickelt und können bezüglich Experimentdauer, Geschwindigkeit der Reizdarbietung etc. nicht ohne vorherige Anpassung bei klinischen Stichproben angewendet werden. Neurologisch gesunde ältere Personen sind geringer belastbar als junge Personen, weisen jedoch eine höhere Belastbarkeit als neurologische Patienten auf. Die Untersuchung gesunder älterer Personen dient daher dem methodischen Ziel, den experimentalpsychologischen Untersuchungsansatz an die Erfordernisse der Patientengruppen anzupassen. Da auch bei neurologisch gesunden älteren Personen Doppelaufgabendefizite beschrieben sind (z.B. Kramer & Larish, 1996), muß außerdem die inhaltliche Frage geprüft werden, ob Alter die parallele perzeptive Verarbeitung in der Doppelaufgabe beeinflusst. Durch die Untersuchung von Alterseffekten auf die parallele perzeptive Verarbeitung leistet die vorliegende Arbeit einen kognitionspsychologisch relevanten Beitrag.

**Aufbau der Arbeit** Nach der Einleitung wird zunächst ein Überblick über bisherige Studien zur Untersuchung von Doppelaufgabendefiziten bei SHT-Patienten gegeben und Schlußfolgerungen für den Untersuchungsansatz der aktuellen Arbeit abgeleitet. Der dann folgende Hauptteil der Arbeit ist in einen Kognitionspsychologischen und einen Klinischen Teil gegliedert. Im Kognitionspsychologischen Teil der Arbeit werden zunächst die theoretischen Grundlagen des experimentalpsychologischen Unter-

## *EINLEITUNG*

suchungsansatzes dargestellt (Kapitel 1). In Kapitel 2 des Kognitionspsychologischen Teiles wird der experimentalpsychologische Untersuchungsansatz an die Erfordernisse neurologischer Patienten adaptiert. Hierfür werden gesunde ältere Personen untersucht. Zusätzlich wird der Alterseffekt auf die parallele perzeptive Verarbeitung in der Doppelaufgabe überprüft.

Im ersten Kapitel des Klinischen Teiles (Kapitel 3) wird der adaptierte Untersuchungsansatz auf die Untersuchung der parallelen perzeptiven Verarbeitung bei SHT-Patienten angewendet. Mit Hilfe dieses Untersuchungsansatzes wird die zentrale Frage der Arbeit untersucht, ob die Doppelaufgabenverarbeitung bei SHT-Patienten bereits an der perzeptiven Verarbeitungsstufe eingeschränkt ist.

In Kapitel 4 wird die klinische Kontrollgruppe der Parkinsonpatienten getestet, um den Einfluß einer Einschränkung der Basalganglienfunktion auf die parallele perzeptive Verarbeitung in der Doppelaufgabe aufzuklären.

Zu Beginn der Kapitel 2, 3 und 4 wird in den Stand der Forschung zu Doppelaufgabendefiziten der jeweiligen Gruppe eingeführt. Am Ende eines jeden Kapitels werden die Resultate und Implikationen gruppenspezifisch diskutiert. Den Abschluß der Arbeit bildet Kapitel 5. In Kapitel 5 werden die Schlußfolgerungen aller Befunde zusammengefaßt, die Hauptfragestellung der Lokalisation von Defiziten im Doppelaufgabenverarbeitungsprozeß bei SHT-Patienten beantwortet und ein neuer Ansatz zur Erklärung von Doppelaufgabeninterferenz diskutiert.

## **2. Überblick über bisherige Untersuchungen**

Im Folgenden sollen bisherige Ansätze zur Untersuchung von Doppelaufgabendefiziten bei SHT-Patienten am Beispiel ausgewählter Studien vorgestellt, und Unterschiede zum Untersuchungsansatz der vorliegenden Arbeit herausgearbeitet werden.

Die Untersuchung von SHT-Patienten mit Doppelaufgaben wird in vielen bisherigen Studien damit begründet, daß die Koordination von Mehrfach Tätigkeiten einen Funktionsaspekt der zentralen Exekutive (Baddeley, 1986) darstellt. Ziel dieser Studien war es, anhand der Doppelaufgabenperformanz von SHT-Patienten Aussagen über exekutive Dysfunktionen nach traumatischer Hirnschädigung zu treffen.

Die Untersuchungsansätze vieler bisheriger Studien basierten auf der Annahme, daß nur bei komplexen Anforderungen die zentrale Exekutive gefordert sei (z.B. Park et al., 1999). Folglich wurden in den meisten Studien Doppelaufgaben aus sehr komplexen Einzelaufgaben verwendet.

In der Studie von Park et al. (1999) war beispielsweise in der ersten Aufgabe der Doppelaufgabenbedingung ein Arbeitsgedächtnistest (PASAT) auszuführen. Im PASAT werden auditorisch eine Reihe von Zahlen dargeboten. Die aktuelle Zahl muß jeweils mit der vorangegangenen Zahl summiert werden. In der zweiten Aufgabe (letter-recall) wurde auf dem Bildschirm jeweils ein Buchstabe dargeboten, der gemerkt werden

#### *BISHERIGE UNTERSUCHUNGEN*

mußte. Anschließend erschienen zwei Testbuchstaben. In einer Bedingung (lag 0) war zu entscheiden, welcher der beiden Buchstaben mit dem eingprägten Buchstaben übereinstimmte. In einer anderen Bedingung (lag 1) waren die Testbuchstaben mit dem Buchstaben abzugleichen, der im vorletzten Trial dargeboten wurde. Wie erwartet, zeigten SHT-Patienten eine schlechtere Doppelaufgabenperformanz als die Kontrollpersonen. Besonders starke Einschränkungen traten auf, wenn in Aufgabe 2 (letter-recall) der Buchstabe aus dem vorletzten Trial aufgerufen werden mußte. Park et al. interpretieren dieses Resultat als Hinweis, daß dem Doppelaufgabendefizit der SHT-Patienten eine Störung der zentralen Exekutive des Arbeitsgedächtnisses zugrunde liegt. Die Autoren räumen jedoch ein, daß eine Spezifizierung der exekutiven Funktionen erfolgen sollte, deren Einschränkung zur Entstehung von Doppelaufgabendefiziten beitragen.

Ein weiteres Beispiel für bisherige Doppelaufgabenstudien mit SHT-Patienten ist die Arbeit von Azouvi et al. (1996). In einer Aufgabe hatten SHT-Patienten und Kontrollpersonen eine modifizierte Version des Stroop-Tests auszuführen. Hierbei wurde das Wort „rot“ in der Farbe grün und das Wort „grün“ in der Farbe rot präsentiert. In einem Durchgang war das Farbwort zu nennen, im folgenden Durchgang die Farbe, in der das Wort geschrieben war. In der zweiten Aufgabe waren zufällige Sequenzen von Zahlen zwischen 1 und 9 zu generieren (Random generation - Aufgabe). Wiederum wiesen SHT-Patienten in der Doppelaufgabenbedingung schlechtere Ergebnisse auf, als die Kontrollgruppe. In der Studie von Azouvi et al. wurden diese Doppelaufgabendefizite bei SHT-Patienten mit einer Einschränkung der Aufmerksamkeitskontrolle (supervisory attentional control) erklärt. Auch diese Studie schließt mit der Anmerkung, daß die Kontrolldefizite spezifiziert werden müssen, welche zur Einschränkung der Doppelaufgabenperformanz bei SHT-Patienten führen.

## *BISHERIGE UNTERSUCHUNGEN*

In einer aktuellen Doppelaufgabenstudie von Leclercq et al. (2000) hatten SHT-Patienten und Kontrollpersonen in der ersten Aufgabe zufällige Zahlensequenzen zu generieren (Random generation - Aufgabe). Um die Komplexität der Anforderung zu vermindern, bestand die zweite Aufgabe aus einer einfachen Reaktion auf einen visuellen Reiz. Patienten, die ein schweres SHT aufwiesen, zeigten bereits Einschränkungen, wenn die Random-generation Aufgabe separat auszuführen war. Unabhängig vom Schweregrad des SHT zeigten alle Patienten eine verschlechterte Doppelaufgabenperformanz gegenüber der Kontrollgruppe. Leclercq et al. interpretierten diese Resultate als Hinweis auf eine Störung der zentralen Exekutive nach einer traumatischen Hirnschädigung.

Aus den drei exemplarisch ausgewählten Doppelaufgabenstudien, in denen ein Vergleich zwischen SHT-Patienten und Kontrollpersonen angestellt wurde, können zwei Schlußfolgerungen abgeleitet werden:

**Schlußfolgerung 1** Eine genaue Aufklärung von Doppelaufgabendefiziten bei SHT-Patienten steht noch aus. Die Autoren vorangegangener Studien stellen teilweise selbst fest, daß bisherige Erklärungsansätze zu unspezifisch zur Erklärung von Doppelaufgabendefiziten bei SHT-Patienten sind. Bis heute gelang es nicht, die angenommenen Einschränkungen der zentralen Exekutive bzw. exekutiver Kontrollprozesse zu spezifizieren. Versuche, diese Spezifikation post hoc vorzunehmen, stoßen automatisch auf das Problem, daß der Begriff „Exekutivfunktionen“ selbst schwer faßbar ist. Bis heute gilt der Begriff „Exekutivfunktionen“ als problematisch, aber kaum ersetzbar. Unter „Exekutivfunktionen“ werden all jene Funktionen eingereiht, die weder sensorischer noch motorischer Natur sind, jedoch motorische und sensorische Prozesse beeinflussen. Folglich können eine Vielzahl von Funktionen unter dem Begriff

#### *BISHERIGE UNTERSUCHUNGEN*

„Exekutivfunktionen“ eingeordnet werden. Dazu gehören Hemmung von Verarbeitung oder Ausführung (Inhibition), Antizipation von Handlungszielen, Problemlösen, Sequenzierung und zeitliche Anordnung der beabsichtigten Handlungen. Ein Großteil der beispielhaft aufgeführten Funktionen läßt sich wiederum unter dem Etikett der Handlungsplanung zusammenfassen. Da in der Doppelaufgabensituation zwei Handlungen parallel ausgeführt werden müssen, sollten gerade hier exekutive Funktionen der Handlungsplanung erforderlich sein.

Vor diesem Hintergrund ist die Annahme, daß die Einschränkung einer - oder mehrerer exekutiver Funktionen die Doppelaufgabenperformanz beeinträchtigt, sicher richtig. Allerdings können keine genaueren Aussagen über die Natur von Doppelaufgabendefiziten getroffen werden, solange die eingeschränkten exekutiven Funktionen nicht spezifiziert sind, die zur Entstehung von Doppelaufgabendefiziten beitragen. Um zur weiteren Aufklärung von Doppelaufgabendefiziten bei SHT-Patienten beizutragen, sollten daher spezifische Defizite im Doppelaufgabenverarbeitungsprozeß lokalisiert werden.

In bisherigen Studien wurde eine Lokalisation spezifischer Einschränkung im Doppelaufgabenverarbeitungsprozeß bei SHT-Patienten nicht vorgenommen. Ein methodischer Grund ist, daß die Verwendung von komplexen Untersuchungsansätzen eine genauere Untersuchung von Defiziten im Doppelaufgabenverarbeitungsprozeß nicht erlaubt.

**Schlußfolgerung 2** Eine genauere Aufklärung von Doppelaufgabendefiziten bei SHT-Patienten wird durch komplexe Untersuchungsansätze erschwert. Einerseits nimmt mit der Komplexität der Einzelaufgaben die Wahrscheinlichkeit zu, daß bereits Einschränkungen in der Einzelaufgabenperformanz auftreten. Diese Einzelaufgabendefizite können dann nicht von doppelaufgabenspezifischen Einschränkungen abgegrenzt werden. Ein Beispiel sind Kurzzeitgedächtniseffekte bei der zufälligen Generierung von Zahlensequenzen (Wagenaar, 1972). Wenn in einer Aufgabe die zufällige Generierung von Zahlensequenzen verlangt wird, kann nicht ausgeschlossen werden, daß der Verschlechterung der SHT-Patienten in der Doppelaufgabenbedingung lediglich Kurzzeitgedächtnisdefizite zugrunde liegen (siehe z.B. die Studien von Azouvi et al., 1996; Leclercq et al., 2000). Außerdem kann angenommen werden, daß die zufällige Generierung von Zahlensequenzen selbst exekutive Funktionen erfordert. Die exekutiven Funktionen zum Ausführen der komplexen Einzelaufgabe können nicht von exekutiven Funktionen unterschieden werden, die spezifisch der Ausführung von Doppelaufgaben zugrunde liegen. Somit ermöglicht die Verwendung von komplexen Untersuchungsansätzen im Doppelaufgabenexperiment keine Aussagen über doppelaufgabenspezifische Prozesse oder Defizite.

Entsprechend der beiden Schlußfolgerungen aus vorangegangenen Studien wird in der vorliegenden Arbeit ein Untersuchungsansatz angewendet, der

1. die Lokalisation von Defiziten im Doppelaufgabenverarbeitungsprozeß von SHT-Patienten erlaubt, und
2. auf Doppelaufgaben aus einfachen Einzelaufgaben basiert.

Dieser Ansatz wird im nächsten Abschnitt vorgestellt.



## **Teil 1**

### **Kognitionspsychologischer Teil**



*THEORETISCHE GRUNDLAGEN*

## **Kapitel 1**

### **Theoretische Grundlagen des Untersuchungsansatzes**

Ein Ansatz der beide Kriterien erfüllt, die im vorangegangenen Abschnitt (2.) aufgestellt wurden, ist das PRP-Paradigma.

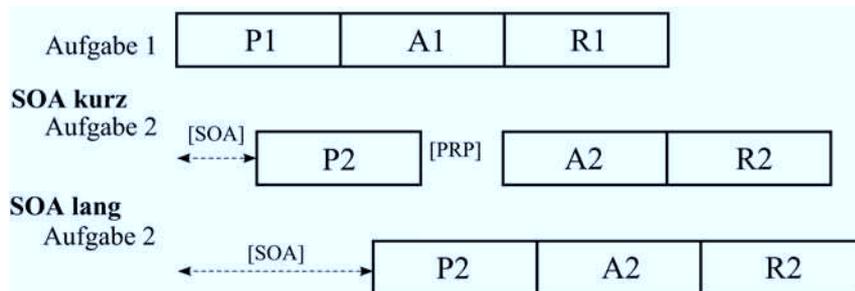
Im nun folgenden theoretischen Abschnitt des Kognitionspsychologischen Teiles wird das PRP-Paradigma zunächst vorgestellt. Anschließend wird ein experimentalpsychologischer Ansatz eingeführt, der es erlaubt, perzeptive Interferenz im Rahmen des PRP-Paradigmas zu lokalisieren.

## 1.1 Das Paradigma der Psychologischen Refraktärperiode: Ein Modell für die Verarbeitung von Doppelaufgaben

Das PRP-Paradigma geht von folgender Grundsituation aus: Es werden zwei Aufgaben bzw. den Aufgaben zugeordnete Reize in veränderlichem zeitlichen Abstand, auch Stimulus Onset Asynchrony genannt (im weiteren als *SOA* abgekürzt), dargeboten. Ein stabiler Befund ist, daß die Reaktionszeiten (Rz) für die zweite Aufgabe (Rz2) in dem Maße zunehmen, in dem das *SOA* kleiner wird. Dieses Resultat wird auch als *PRP-Effekt* bezeichnet. Die Reaktionszeiten für die erste Aufgabe (Rz1) zeigen sich in vielen Untersuchungen dagegen unbeeinflusst vom *SOA*. Die Zunahme der Rz2 wird üblicherweise durch strukturelle Verarbeitungsengpässe („*Flaschenhals*“) des kognitiven Systems erklärt (Pashler, 1984), die bei kurzem *SOA*, also hoher zeitlicher Überlappung der Aufgaben, auftreten. Die Zeit der Verarbeitungsverzögerung der zweiten Aufgabe wird als *Refraktärzeit* oder *psychologische Refraktärperiode (PRP)* bezeichnet. Interferenz zwischen Prozeßstufen, die eine Verzögerung der Verarbeitung

einer Verarbeitungsstufe (oder eines Teiles einer Verarbeitungsstufe) hervorruft, wird *Flaschenhals-Interferenz* genannt. Wenn zwischen zwei Verarbeitungsstufen der verschiedenen Reize Flaschenhals-Interferenz auftritt, wird die entsprechende Verarbeitungsstufe des zweiten Reizes nach der PRP verarbeitet, es findet also eine serielle Verarbeitung der Verarbeitungsstufen statt.

Welford (1952) und aktueller auch Pashler (1984, 1994) gehen davon aus, daß besonders zentrale Mechanismen wie Entscheidungsprozesse bei der Antwortauswahl (A1, A2; Abbildung 1) einem Flaschenhals unterworfen sind (siehe dagegen Meyer & Kieras, 1997). Entsprechend ist die Stufe der Antwortauswahl von Aufgabe 2 (A2) nach der PRP lokalisiert (Abbildung 1). A1 und A2 werden seriell verarbeitet.



**Abbildung 1.** Stufendiagramm zur Illustration der Verarbeitung von Aufgabe 1 und Aufgabe 2 bei relativ kurzer Stimulus Onset Asynchrony (SOA) (oben) und relativ langem SOA (unten). P1, P2 = Stufen der perceptiven Verarbeitung der Reize 1 und 2; A1, A2 = Stufen der Antwortauswahl für die erste und zweite Aufgabe; R1, R2 = Stufen der motorischen Reaktion zur Beantwortung der ersten und zweiten Aufgabe. Die Unterbrechung der Verarbeitung wird bei kurzem SOA (oben) vor der Antwortauswahl der zweiten Aufgabe vorgenommen. Es entsteht eine psychologische Refraktärperiode (PRP).

Unter der Voraussetzung, daß die dargebotenen Reize unterschiedlichen Modalitäten angehören (Pashler, 1989) und keine höheren perceptiven Anforderungen (z.B. Kategorisierung der Reize) gestellt werden (DeJong, 1993), läuft dagegen die

#### *THEORETISCHE GRUNDLAGEN*

perzeptive Verarbeitung des ersten und des zweiten Reizes parallel ab (P1, P2; Abbildung 1). Von paralleler Verarbeitung spricht man, wenn Informationsverarbeitungsprozesse unabhängig voneinander, und somit ohne gegenseitige Interferenz, verarbeitet werden (Ashby & Townsend, 1980; Townsend, 1984). Im Falle einer parallelen Verarbeitung der Perzeptionsverarbeitungsstufen des ersten und des zweiten Reizes ist die perzeptive Verarbeitungsstufe von Aufgabe 2 (P2) vor der PRP lokalisiert.

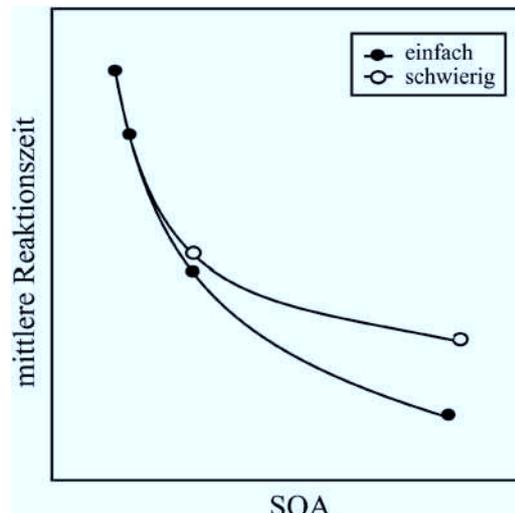
Die wichtigste Implikation des PRP-Paradigmas für die Untersuchung von perzeptiver Verarbeitung in der Doppelaufgabensituation bei neurologischen Patienten und gesunden älteren Personen ist die Annahme, daß die einfache perzeptive Verarbeitung von Reizen verschiedener Reizmodalitäten parallel, d.h. ohne gegenseitige Interferenz abläuft. Von einer parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe ist auszugehen, wenn nachgewiesen werden kann, daß die Perzeptionsverarbeitungsstufe von Aufgabe 2 vor der PRP lokalisiert ist.

Die Frage, ob die perzeptive Verarbeitungsstufe von Aufgabe 2 vor oder nach der PRP lokalisiert ist, kann durch die Anwendung der Logik der kritischen Pfadtechnik (Schweickert, 1983) auf das PRP Modell untersucht werden. Diese Methode wird im folgenden vorgestellt.

## 1.2. Anwendung der kritischen Pfadtechnik auf das Modell der Psychologischen Refraktärperiode

Nach der Logik der kritischen Pfadtechnik führt eine differenzierte Schwierigkeitsmanipulation von Verarbeitungsstufen vor und nach der PRP zu unterschiedlichen Reaktionszeiteffekten in Aufgabe 2. So kann festgestellt werden, ob die manipulierte Verarbeitungsstufe vor oder nach der PRP lokalisiert ist, d.h. parallel oder seriell mit Stufen von Aufgabe 1 verarbeitet wird.

Zur Untersuchung der perceptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe wurde in experimentalpsychologischen Studien mit jungen gesunden Probanden die perceptive Schwierigkeit der Reize in Aufgabe 2 manipuliert. In der perceptiv einfachen Bedingung wurden stark intensive visuelle Reize, in der perceptiv schwierigen Bedingung schwach intensive visuelle Reize dargeboten (DeJong, 1993; Luck, 1998; Pashler, 1984; Pashler & Johnston, 1989). Die mittleren Rz2 für stark intensive visuelle Reize und die mittleren Rz2 für schwach intensive visuelle Reize wurden miteinander verglichen. Die kritische Frage war, ob sich unter der schwach intensiven Bedingung die mittlere Rz2 erhöht. Die Resultate zeigten nur dann einen Anstieg von Rz2, wenn die Aufgaben durch ein langes SOA voneinander getrennt waren (z.B. Pashler & Johnson, 1989). Dagegen trat unter kurzen SOA-Bedingungen kein Unterschied zwischen den mittleren Rz2 für stark intensive und schwach intensive visuelle Reiz auf (Abbildung 2).



**Abbildung 2.** Modellhafter Reaktionszeitverlauf für die Rz der zweiten Aufgabe (Rz2) beim Vorliegen einer unteradditiven Interaktion zwischen SOA und Schwierigkeitsmanipulation von Aufgabe 2.

**Unteradditive Interaktion zwischen SOA und Intensität** Der Zusammenhang eines geringen Effektes der Intensitätsmanipulation bei kurzem SOA und eines großen Effektes der Intensitätsmanipulation bei langem SOA wird als *unteradditive Interaktion zwischen SOA und Intensität* bezeichnet. Der geringe Effekt der Intensitätsmanipulation bei kurzem SOA kann durch die Absorption der zusätzlichen perzeptiven Verarbeitungszeit für die schwach intensiven visuellen Reize in der PRP erklärt werden (Abb. 2a). Eine Absorption zusätzlicher Verarbeitungszeit ist nur möglich, wenn die manipulierte perzeptive Verarbeitungsstufe vor der PRP lokalisiert ist.

Bei langem SOA bildet sich keine PRP. Daher kann die zusätzliche perzeptive Verarbeitungszeit für die schwach intensiven visuellen Reize unter langen SOA Bedingungen nicht absorbiert werden und führt zur Verlängerung der Rz2 für schwach intensive visuelle Reize im Vergleich zu stark intensiven visuellen Reizen.



## *THEORETISCHE GRUNDLAGEN*

Wenn SHT-Patienten, Parkinsonpatienten und gesunde ältere Personen wie junge Personen zur parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe fähig sind, sollte ebenfalls eine unteradditive Interaktion zwischen SOA und Intensität in Rz2 nachweisbar sein, wenn das SOA und die Intensität des visuellen Reizes in Aufgabe 2 manipuliert werden.

Im nun folgenden Abschnitt wird die perzeptive Verarbeitung in der Doppelaufgabe bei älteren Personen im Vergleich zu jungen Personen untersucht. Dabei wird sowohl eine methodische als auch eine inhaltliche Fragestellung verfolgt. Im Rahmen der methodischen Zielstellung soll der Untersuchungsansatz von Pashler und Johnston (1989), der bisher nur bei jungen gesunden Personen angewendet wurde, an die Erfordernisse der neurologischen Patientengruppen angepaßt werden. Da gesunde ältere Personen bezüglich ihrer Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit in der experimentellen Situation zwischen gesunden jungen Personen und neurologischen Patienten stehen, wird eine adaptierte Variante des experimentalpsychologischen Untersuchungsaufbaus zunächst an einer Gruppe gesunder älterer Personen getestet.

Inhaltlich soll geklärt werden, ob der Faktor Alter die parallele perzeptive Verarbeitung in der Doppelaufgabe beeinflusst. Zur Untersuchung dieser Frage wird die Performanz gesunder älterer Probanden und gesunder junger Probanden gegenübergestellt.

*ÄLTERE PERSONEN*

## **Kapitel 2**

### **Doppelaufgabendefizite bei neurologisch gesunden älteren Personen**

Vor Darstellung und Diskussion der empirischen Befunde wird zu Beginn des Kapitels zunächst in den Stand der Forschung zu Doppelaufgabendefiziten bei neurologisch gesunden älteren Probanden eingeführt. Dabei werden

- Generelle Verlangsamung
- Ressourcen-Interferenz
- Flaschenhals-Interferenz
- Generelles Inhibitionsdefizit

als bestehende Ansätze zur Erklärung von Alterseffekten bei der Ausführung von Doppelaufgaben dargestellt, und Implikationen für die parallele perzeptive Verarbeitung bei älteren Probanden abgeleitet.

## 2.1 Stand der Forschung

Doppelaufgabendefizite bei älteren Erwachsenen wurden schon früh beschrieben (Broadbent & Heron, 1962; Craik, 1965). Eine zentrale Frage ist, ob die Fähigkeit zur Verarbeitung von Doppelaufgaben generell mit dem Alter abnimmt. Bis heute stehen sich widersprüchliche Annahmen gegenüber. Einerseits wurde auf der Basis entsprechender Befunde die Schlußfolgerung gezogen, daß ältere Personen spezifische Probleme bei der Ausführung simultaner Aufgaben aufweisen (z.B. Craik, 1977). Im Gegensatz dazu wurde die Annahme aufgestellt, daß eine verschlechterte Doppelaufgabenperformanz älterer Personen nicht auf doppelaufgabenspezifische Defizite,

sondern auf eine generelle Verlangsamung im Alter zurückzuführen sei (Cerella, 1985; Salthouse, 1985, 1996).

**Generelle Verlangsamung** Die Annahme der generellen Verlangsamung geht davon aus, daß sowohl perzeptive, als auch kognitive und motorische Prozesse bei älteren Personen im Vergleich zu jungen Personen verlangsamt sind. Die Doppelaufgabenperformanz von jungen und älteren Personen sollte sich somit quantitativ, d.h. bezüglich des Reaktionszeitniveaus, unterscheiden. Mechanismen und Prozesse der Doppelaufgabenverarbeitung wie z.B. die parallele perzeptive Verarbeitung von Reizen verschiedener Reizmodalitäten sollten dagegen durch die Variable Alter nicht beeinflusst werden. Nach der Annahme der generellen Verlangsamung wären Unterschiede in der Doppelaufgabenperformanz zwischen jungen und älteren Personen durch eine altersbedingte Verlangsamung bei der Ausführung der Einzelaufgaben erklärbar (Somberg & Salthouse, 1982). Somberg und Salthouse (1982) konnten auch tatsächlich zeigen, daß sich die Unterschiede zwischen jungen und älteren Personen in Doppelaufgabensituationen minimierten, wenn kein Gruppenunterschied bezüglich der Ausführung der Einzelaufgaben auftrat.

Heute liegen jedoch eine Reihe von Studien vor, die Doppelaufgabendefizite bei älteren Personen berichten, obwohl die Einzelaufgabenperformanz der jungen und älteren Gruppe angeglichen war (z.B. Crossley & Hiscock, 1992; Tsang & Shaner, 1998; Salthouse, Rogan & Prill, 1984). Außerdem wurden für ältere Personen wesentlich höhere Doppelaufgabenkosten ermittelt als für junge Erwachsene (Crossley & Hiscock, 1992; Lindenberger, Mariske & Baltes, 2000; Park, Smith, Dudley & Lafronza, 1989; Salthouse et al., 1984). Diese Befunde lassen sich nicht ausschließlich durch die Annahme einer generellen Verlangsamung mit zunehmenden Alter erklären.

Sie werden übereinstimmend als Hinweise auf eine altersbedingte Einschränkung der Doppelaufgabenperformanz im Vergleich zu jungen Personen interpretiert.

### **Erhöhte Interferenz als Quelle für Doppelaufgabendefizite bei älteren Personen**

Obwohl der Befund von Doppelaufgabendefiziten bei gesunden älteren Personen immer wieder bestätigt wurde, konnte die Natur altersbedingter Doppelaufgabendefizite bis heute nicht genauer aufgeklärt werden. Ein Grund ist, daß in bisherigen Studien komplexe Untersuchungsparadigmen verwendet wurden, die eine Lokalisation erhöhter Interferenz im Doppelaufgabenverarbeitungsprozeß bei älteren Personen nicht erlaubten.

Bei Salthouse et al. (1984) hatten sich die Probanden z.B. simultan eine Buchstabenliste und eine Liste von Zahlen einzuprägen. Die schlechtere Doppelaufgabenperformanz der älteren Gruppe wurde auf die Abnahme der generellen Verarbeitungsressource mit dem Alter zurückgeführt. Alternativ könnte die Verschlechterung der älteren Gruppe aber auch mit erhöhter perzeptiver Interferenz in der Doppelaufgabe erklärt werden, da in der Untersuchung von Salthouse et al. (1984) die simultane Verarbeitung von Inputs der gleichen Modalität (visuell) gefordert war. Wie in anderen altersvergleichenden Studien (z.B. Crossley & Hiscock, 1992; Park et al., 1989; Tsang & Shaner, 1998) konnte mit Salthouse et al.'s Ansatz nicht untersucht werden, ob eine Erhöhung von perzeptiver Interferenz zur Entstehung von Doppelaufgabendefiziten bei älteren Personen beiträgt.

Wenn erhöhte perzeptive Interferenz bei gesunden älteren Personen auftritt, könnte dies durch klassische Ansätze wie Ressourcen-Interferenz oder Flaschenhals-Interferenz erklärt werden. Zusätzlich zu klassischen Ansätzen zur Erklärung von Doppelaufgabeninterferenz muß auch ein altersbedingtes Inhibitionsdefizit im Zusammenhang mit Alterseffekten in der Doppelaufgabenperformanz diskutiert werden

(Hasher & Zacks, 1988). Im Folgenden werden alle drei Ansätze dargestellt und bezüglich der perzeptiven Verarbeitung der verschiedenen Reize in der Doppelaufgabe ausgeführt.

*Ressourcen-Interferenz* Die Ressourcen-Interferenz Annahme ist wohl der prominenteste Ansatz zur Erklärung von Alterseffekten bei der Ausführung von Doppelaufgaben. Es wird davon ausgegangen, daß Verarbeitungsressourcen mit dem Alter abnehmen (z.B. Craik & Byrd, 1982). Eine Klasse von Ressourcenmodellen nimmt an, daß eine generelle Verarbeitungsressource bei älteren Personen reduziert ist (Crossley & Hiscock, 1999; Salthouse et al., 1984; siehe auch Salthouse, 1988). Andere Modelle begründen die Probleme älterer Personen in der Doppelaufgabensituation dagegen mit einer Limitation prozeßspezifischer Ressourcen (Tsang & Shaner, 1998; siehe auch Tsang, Velazquez & Vidulich, 1996; Wickens, 1980). Bis heute stellt die Unspezifität des Ressourcenbegriffes ein Problem von Ressourcenmodellen dar.

Unabhängig davon, ob von einer generellen Ressource oder verschiedenen prozeßspezifischen Ressourcen ausgegangen wird, sollte es zur *Ressourcen-Interferenz* kommen, wenn zwei Prozesse auf die gleiche limitierte Ressource zugreifen. Ressourcen-Interferenz sollte besonders bei kurzem SOA auftreten, da hier die Überlappung der Verarbeitungsstufen von Aufgabe 1 und Aufgabe 2 maximal ist. Außerdem sollte die Ressourcen-Interferenz stärker sein, wenn die Schwierigkeit einer Verarbeitungsstufe eines Reizes erhöht ist, und so einen größeren Anteil der Ressource erfordert. Nach Manipulation der Intensität der visuellen Reize sollte Ressourcen-Interferenz beispielsweise zwischen den perzeptiven Verarbeitungsprozessen der Reize auftreten, wenn der visuelle Reiz eine schwache Intensität aufweist (perzeptiv schwierige Bedingung) und mit kurzem SOA nach Aufgabe 1 dargeboten wird. Das Auftreten einer Ressourcen-Interferenz sollte die Verarbeitung beider Reize der Doppel-

## ÄLTERE PERSONEN

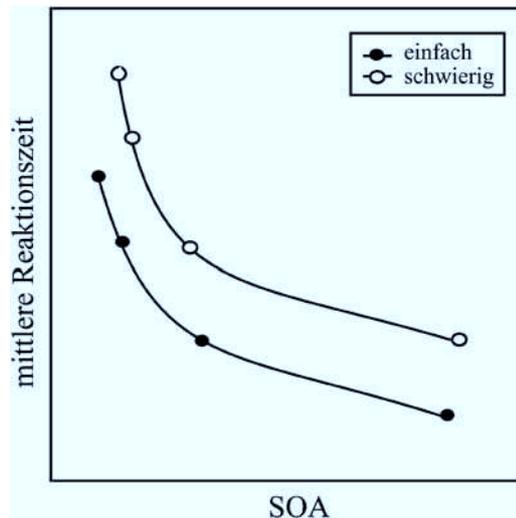
aufgabe beeinträchtigen. Nach einer Manipulation der Intensität der visuellen Reize in Aufgabe 2 würde die Ressourcen-Interferenz Annahme so eine verschlechterte Performanz von Aufgabe 1 und Aufgabe 2 bei schwacher Intensität des visuellen Reizes und bei kurzem SOA vorhersagen.

*Flaschenhals-Interferenz* Alternativ zur Ressourcen-Interferenz kann eine verschlechterte Performanz von älteren Personen in der Doppelaufgabe über eine Flaschenhals-Interferenz erklärt werden. Die Flaschenhals-Interferenz Annahme geht davon aus, daß mit fortschreitendem Alter die Verarbeitung an bestimmten Verarbeitungsstufen der Doppelaufgabe erschwert wird. Die Verarbeitung dieser Stufen wird durch einen altersbedingten zusätzlichen Verarbeitungsanteil verzögert. Es wird angenommen, daß zwischen diesem altersbedingten zusätzlichen Verarbeitungsanteil und den Verarbeitungsstufen der anderen Aufgabe *Flaschenhals-Interferenz* auftritt. Daraus folgt, daß der altersbedingte zusätzliche Verarbeitungsanteil bei älteren Personen erst nach der PRP verarbeitet wird. In diesem Fall sollte sich der zusätzliche Verarbeitungsanteil in einer Erhöhung von  $Rz2$  niederschlagen.

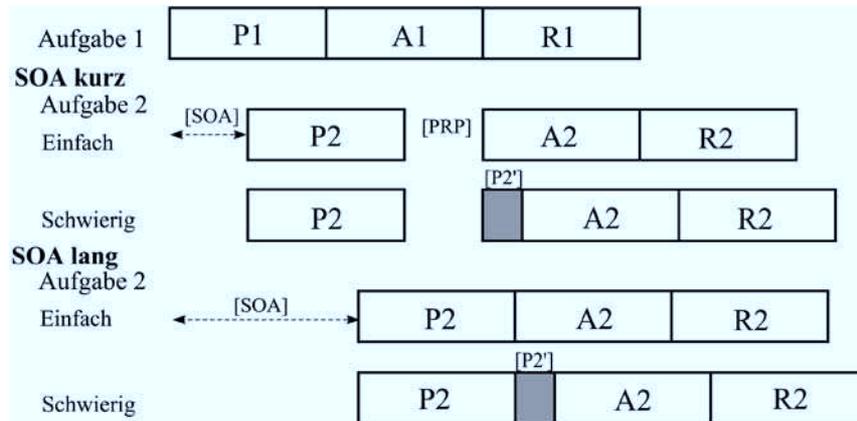
Die Logik der Flaschenhals-Interferenz Annahme zur Erklärung von Alterseffekten in der Doppelaufgabe kann gut am Beispiel der Intensitätsmanipulation eines visuellen Reizes demonstriert werden. Die perzeptive Verarbeitung der schwach intensiven visuellen Reize sollte für ältere Probanden eine schwierigere Anforderung darstellen als für junge Personen, da die Sehstärke mit dem Alter abnimmt (z.B. Baltes & Lindenberger, 1997; Lindenberger & Baltes, 1994). In diesem Fall würde die Flaschenhals-Interferenz Annahme prädikieren, daß zwischen dem zusätzlichen Verarbeitungsanteil für schwach intensive visuelle Reize ( $P2'$ ; Abbildung 3a) und den Verarbeitungsstufen des ersten Reizes Flaschenhals-Interferenz auftritt. Folglich wird  $P2'$  nicht in der PRP absorbiert, sondern erst nach der PRP verarbeitet. Dies würde zu

einer Erhöhung der mittleren Rz2 der schwach intensiven visuellen Reize im Vergleich zu stark intensiven visuellen Reizen (perzeptiv einfache Bedingung) führen. Die Erhöhung der Rz2 für schwach intensive visuelle Reize sollte sowohl bei kurzem als auch bei langem SOA auftreten (Abbildung 3 und 3a). SOA und die Manipulation der Intensität des visuellen Reizes hätten einen additiven Effekt auf Rz2. Additive Effekte in Rz2 sind aus früheren Doppelaufgabenstudien nach Variation der Reiz-Reaktions-Kompatibilität (McCann & Johnston, 1992) oder nach Manipulation von Antwortalternativen (Schubert, 1996, 1999; Van Selst & Joliceour, 1998) bekannt.

Im Gegensatz zu Rz2 sollte die Performanz der ersten Aufgabe nicht durch Flaschenhals-Interferenz beeinflusst sein.



**Abbildung 3.** Modellhafter Reaktionszeitverlauf für die Reaktionszeiten der zweiten Aufgabe (Rz2) beim Vorliegen eines additiven Effektes von SOA und Schwierigkeitsmanipulation in Aufgabe 2.



**Abbildung 3a.** Flaschenhals-Interferenz Annahme. P1, P2 = Stufen der perzeptiven Verarbeitung der Reize 1 und 2; A1, A2 = Stufen der Antwortauswahl für die erste und zweite Aufgabe; R1, R2 = Stufen der motorischen Reaktion zur Beantwortung der ersten und zweiten Aufgabe; PRP = Psychologische Refraktärperiode. In Aufgabe 2 ist die perzeptive Verarbeitung durch eine experimentelle Manipulation (Schwierigkeit) in der schwierigen Bedingung von Aufgabe 2 im Vergleich zur einfachen Bedingung von Aufgabe 2 verlängert. Die zusätzliche perzeptive Verarbeitungszeit unter der schwierigen Bedingung von Aufgabe 2 (P2') wird nach der PRP verarbeitet. Unter der schwierigen Bedingung von Aufgabe 2 sollte R2 unabhängig vom SOA erhöht sein. R21 wird von der experimentellen Manipulation von Aufgabe 2 nicht beeinflusst.

**Inhibitionsdefizit** In einem weiteren einflußreichen Ansatz der Altersforschung wird ein altersbedingtes Inhibitionsdefizit als eine wichtige Quelle für Alterseffekte in unterschiedlichen kognitiven Anforderungen angesehen (z.B. Hasher & Zacks, 1988). In verschiedenen Studien zeigte sich, daß ältere Personen schlechter als junge Personen in der Lage sind, simultan dargebotene Reize unabhängig voneinander zu verarbeiten. Beispielsweise riefen irrelevante Reize bei älteren Personen auch nach wiederholter Darbietung eine Änderung des elektrodermalen Hautwiderstandes hervor, während junge Personen schnell an die entsprechenden irrelevanten Reize habituierten und so keine Änderung des Hautleitwertes mehr aufwiesen (McDowd & Fillion, 1992). Ähnliche Resultate wurden aus EKP-Studien berichtet, in denen auditive Störreize

dargeboten wurden (Alain & Woods, 1999; Chao & Knight, 1997). Für ältere Probanden wurden wesentlich stärkere Potentiale (Mismatch-Negativität bei Alain & Woods; Evozierte Potentiale bei Chao & Knight) als Reaktion auf den jeweils irrelevanten Reiz abgeleitet, als in der jungen Vergleichsgruppe. Die Autoren führen diese Ergebnisse auf eine Einschränkung der Fähigkeit zur Unterdrückung irrelevanter Reize in der älteren Gruppe zurück. In der Doppelaufgabensituation könnte ein inhibitorisches Defizit dazu führen, daß der zweite Reiz mit der perzeptiven Verarbeitung des ersten Reizes interferiert, und somit die parallele perzeptive Verarbeitung in der Doppelaufgabe bei älteren Personen gestört wird. Das würde bedeuten, daß ein altersbedingtes Inhibitionsdefizit zur Erhöhung von Interferenz und damit zur Beeinträchtigung der parallelen perzeptiven Verarbeitung beitragen könnte (Dempster & Corkill, 1999)<sup>3</sup>.

**Fazit** Nach den klassischen Ansätzen zur Erklärung von Doppelaufgabeninterferenz könnte die parallele perzeptive Verarbeitung in der Doppelaufgabe durch Ressourcen-Interferenz oder Flaschenhals-Interferenz gestört werden. In Erweiterung dieser klassischen Ansätze kann zudem angenommen werden, daß auch eine altersbedingte Einschränkung inhibitorischer Fähigkeiten zur Erhöhung von perzeptiver Interferenz in der Doppelaufgabe führen könnte. Dagegen sollten sich nach der Annahme der Generellen Verlangsamung die Mechanismen der Doppelaufgabenverarbeitung zwischen jungen und älteren Personen nicht unterscheiden. Generelle altersbedingte

---

<sup>3</sup> Der Zusammenhang zwischen eingeschränkter Inhibition und Interferenz wird kontrovers diskutiert. Im Rahmen von Untersuchungen zu negativen Primingeffekten wurden alternative Annahmen zur Entstehung von Interferenz entwickelt. Interferenz wird z.B. darauf zurückgeführt, daß mit der Präsentation des relevanten Reizes auch dessen Gedächtnispräsentation als irrelevanter Reiz aktiviert wird (May, Kane & Hasher, 1995; Neill & Valdes, 1992). Die Ergebnisse entwicklungspsychologischer und klinischer Studien unterstützen jedoch die Annahme eines Zusammenhanges zwischen Hemmungsmechanismen und Interferenzanfälligkeit (May et al., 1995).

#### *ÄLTERE PERSONEN*

Verlangsamung, Ressourcen-Interferenz und Flaschenhals-Interferenz lassen konkrete Prädiktionen bezüglich experimenteller Parameter zu. Dagegen können über den Einfluß eines altersbedingten Inhibitionsdefizites auf die parallele perzeptive Verarbeitung in der Doppelaufgabe an dieser Stelle nur vage Vermutungen aufgestellt werden. Aus diesem Grund werden in den Hypothesen, die für die parallele perzeptive Verarbeitung bei gesunden älteren Personen aufgestellt werden, zunächst nur Generelle Verlangsamung, Ressourcen-Interferenz und Flaschenhals-Interferenz berücksichtigt.

Ob Alter die parallele perzeptive Verarbeitung in der Doppelaufgabe beeinflusst, oder ältere Personen wie junge Personen zur parallelen perzeptiven Verarbeitung fähig sind, wird in Experiment 1(a) untersucht.

## 2.2 Experiment 1(a)

### 2.2.1 Fragestellung

In Experiment 1(a) wurde untersucht, ob gesunde ältere Personen wie junge gesunde Personen in der Lage sind, perzeptive Verarbeitungsstufen von Reizen verschiedener Reizmodalitäten in der Doppelaufgabensituation parallel zu verarbeiten.

### 2.2.2 Methode

**Versuchspersonen** An Experiment 1(a) nahmen 12 jüngere und 12 ältere Personen freiwillig und gegen ein Entgelt teil. Alle Probanden wurden aus der Datenbank des Max-Planck-Institutes für neuropsychologische Forschung Leipzig rekrutiert. Die Sehstärke der Probanden war normal oder durch eine Brille korrigiert. Personen mit Hörproblemen (Hörgerät, selbst beschriebene Schwerhörigkeit) nahmen nicht am Experiment teil. Die detaillierte Beschreibung der beiden Stichproben ist Tabelle 1 zu entnehmen.

## 2.2 EXPERIMENT 1(A)

**Tabelle 1.** Demographische Daten der älteren Stichproben und jungen Stichprobe aus Experiment 1(a). *M*= Mittelwert; *s*= Standardabweichung; *Geschlecht*= weiblich/ männlich; *Schulbildung*= höchster Schulabschluss.

	Ältere		Jung	
	<i>M</i>	( <i>s</i> )	<i>M</i>	( <i>s</i> )
Alter in Jahren	57	(6)	23	(3)
Altersspanne	42-64	-	18-32	-
Geschlecht	8/4	-	9/3	-
Schulbildung	10	(2)	12	(1)

**Material** Die Reize wurden PC-gestützt unter Anwendung des Experimental Run Time System (ERTS; Beringer, 1995) generiert und auf einem 17- Zoll Farbmonitor dargeboten. Die Töne wurden über zwei Lautsprecher präsentiert, die sich links und rechts neben dem Monitor befanden. Die Reaktion erfolgte auf zwei externen Doppeltasten (jeweils 0.8 x 1.2 cm). Der Sehabstand betrug 60 cm. Die Stimuli für die auditive Aufgabe 1 waren zwei Töne mit einer Frequenz von 300 oder 900 Hz, die für 300 ms dargeboten wurden. Auf tiefe Töne (300 Hz) war mit dem linken Zeigefinger, auf höhere Töne (900 Hz) mit dem rechten Zeigefinger zu reagieren. Als Stimuli für die visuelle Aufgabe 2 wurden die kleinen Druckbuchstaben ‘a’ und ‘e’ mit den Maßen 0.6 cm horizontal und 0.6 cm vertikal aus einer Entfernung von ca. 60 cm für 300 ms präsentiert. Die Probanden reagierten auf ‘a’ mit dem linken Mittelfinger, auf ‘e’ mit dem rechten Mittelfinger. Die Hälfte der Buchstaben wurden mit *starker Intensität* (42.7 cd/m<sup>2</sup>) vor dem schwarzen Bildschirmhintergrund (0 cd/m<sup>2</sup>) dargeboten und stellten die perzeptiv *einfache* Bedingung von Aufgabe 2 dar. Der Intensitätsgrad der Buchstaben, die eine *schwache Intensität* (perzeptiv *schwierige* Bedingung von Aufgabe 2) aufwiesen, wurde in einer Adaptationsphase individuell angepaßt<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Stark intensive visuelle Reize werden fortan als stark intensive Reize, schwach intensive visuelle Reize als schwach intensive Reize bezeichnet.

## 2.2 EXPERIMENT 1(A)

*Adaptationsphase.* Die Adaptation der Intensität der schwach intensiven Reize wurde unmittelbar vor dem Hauptexperiment durchgeführt. In der Adaptationsphase wurden stark intensive und schwach intensive Buchstaben ('a' und 'e') in randomisierter Reihenfolge dargeboten. Die Intensität der stark intensiven Reize lag konstant bei  $42.7 \text{ cd/m}^2$ , während die Intensität der schwach intensiven Reize graduell in fünf Stufen abnahm (Stufe 1:  $1.49 \text{ cd/m}^2$ , Stufe 2:  $0.56 \text{ cd/m}^2$ , Stufe 3:  $0.24 \text{ cd/m}^2$ , Stufe 4:  $0.08 \text{ cd/m}^2$ , Stufe 5:  $0.08 \text{ cd/m}^2$ ). Die Probanden waren instruiert, so schnell wie möglich auf die visuellen Reize zu reagieren. Die Leuchtintensität der schwach intensiven Reize, die im Hauptexperiment angewendet wurde, wurde für jeden Proband nach folgendem Kriterium bestimmt:

(1) Die mittlere Reaktionszeitdifferenz zwischen stark intensiven und schwach intensiven Reizen betrug mindestens 100 ms.

(2)  $\text{Varianz}_{\text{stark intensive Reize}} < 1/3 \text{ mittlere RZ}_{\text{stark intensive Reize}}$

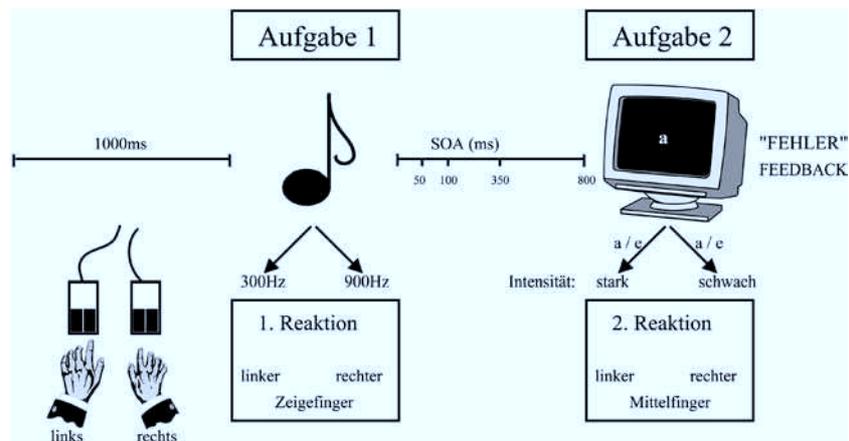
und

$\text{Varianz}_{\text{schwach intensive Reize}} < 1/3 \text{ mittlere RZ}_{\text{schwach intensive Reize}}$ .

**Versuchsdesign** Stark und schwach intensive Reize wurden in randomisierter Reihenfolge präsentiert. SOA, Art des Buchstabens, Art des Tones, Intensität des visuellen Reizes und Händigkeit der Reaktionen waren in jedem Block gleich verteilt und wurden randomisiert dargeboten, wobei nicht mehr als zwei Wiederholungen auftraten. In den Doppelaufgabentrials wurde stets zuerst ein auditiver Reiz, dann ein visueller Reiz dargeboten. Die Antwortreihenfolge entsprach der Reihenfolge der Präsentation. Es war immer zuerst auf den auditiven Reiz zu reagieren. Das SOA zwischen beiden Reizen variierte zufällig zwischen 50, 100, 350 und 800 ms. Das Experiment wurde in einer

## 2.2 EXPERIMENT 1(A)

Sitzung durchgeführt, die insgesamt 454 Trials umfaßte. Nach den 70 Trials der Adaptationsphase folgten acht Blöcke à 48 Trials. Nach der Adaptationsphase wurde ein Block visueller Einzelaufgaben und ein Block auditiver Einzelaufgaben dargeboten. Die dann folgenden sechs Blöcke waren Doppelaufgabenblöcke. Die ersten drei Doppelaufgabenblöcke dienten der Übung und gingen nicht in die Analyse ein.



**Abbildung 4.** Trialablauf nach Erscheinen des Fixationspfeils. Aufgabe 1 = auditorische Wahlreaktionsaufgabe; Aufgabe 2 = visuelle Wahlreaktionsaufgabe; SOA = Simulus Onset Asynchrony.

**Versuchsablauf** Zu Beginn eines jeden Trials wurde ein Fixationspfeil in der Mitte des Bildschirmes für 500 ms dargeboten. 1000 ms nach dem Erscheinen des Fixationspfeils wurde der erste Reiz dargeboten (Abbildung 4). Unter Doppelaufgabenbedingungen war dies einer der Töne, der nach einem der SOA's von einem visuellen Reize gefolgt wurde. Die maximale Dauer eines kompletten Doppelaufgabentrials war 5 s. Wenn eine der Antworten falsch war, oder nach Ablauf der maximalen Trialdauer gegeben wurde, erschien das Wort "Fehler" für 500 ms in der Mitte des Bildschirmes.

Die Blöcke waren durch Pausen voneinander getrennt, deren Länge von der Versuchsperson selbst bestimmt wurde. Vor dem Experiment erhielt jeder Proband eine

## 2.2 EXPERIMENT 1(A)

schriftliche Instruktion, in welcher der Ablauf des Experimentes, die Reihenfolge der Reizpräsentation und die Antworttasten beschrieben waren. Es wurde betont, daß jede Reaktion so schnell und richtig wie möglich abzugeben sei. Weiterhin wurde betont, daß es in der Doppelaufgabensituation besonders wichtig sei, die erste Reaktion so prompt wie möglich auszuführen, d.h. mit der Antwort auf den ersten Reiz nicht zu warten, bis auch der zweite Reiz erscheint. Das Experiment wurde in einem komplett abgedunkelten Raum unter Anwesenheit der Versuchsleiterin durchgeführt.

### 2.2.3 Hypothesen

Bei der Auswertung des Reaktionszeitverlaufes sollte geprüft werden, ob sich gesunde ältere und gesunde junge Personen bezüglich der parallelen perzeptiven Verarbeitung unterscheiden. In Abschnitt 1.2 wurden Ergebnisse bezüglich der perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe bei jungen gesunden Personen dargestellt (z.B. Pashler & Johnston, 1989). In Abschnitt 2.1 wurden Annahmen über die perzeptive Verarbeitung bei älteren gesunden Personen formuliert. Daraus lassen sich folgende Hypothesen für die parallele perzeptive Verarbeitung bei älteren Personen ableiten:

#### 1. Keine Beeinträchtigung

Wenn ältere Personen wie junge Personen zur parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe fähig sind, sollten folgende Reaktionszeitparameter beobachtet werden:

*Rz2: Unteradditive SOA X Intensität Interaktion (siehe Abschnitt 1.2)*

*Rz1: weder durch SOA noch durch Intensitätsmanipulation beeinflusst*

## 2.2 EXPERIMENT 1(A)

### 2. Generelle Verlangsamung

Wenn ältere Personen wie junge Personen zur parallelen perceptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe fähig sind (siehe Hypothese 1), jedoch in beiden Reaktionen eine Verlangsamung gegenüber jungen Personen aufweisen, sollten *unabhängig von SOA und Intensitätsmanipulation* folgende Reaktionszeitparameter beobachtet werden:

$$Rz2_{\text{ältere Probanden}} > Rz2_{\text{junge Probanden}}$$

$$Rz1_{\text{ältere Probanden}} > Rz1_{\text{junge Probanden}}$$

### 3. Ressourcen-Interferenz

Wenn die parallele perceptive Verarbeitung bei älteren Personen durch Ressourcen-Interferenz gestört ist, sollten *bei kurzem SOA* folgende Reaktionszeitparameter beobachtet werden.

$$Rz2_{\text{schwache Intensität visueller Reiz}} > Rz2_{\text{starke Intensität visueller Reiz}}$$

$$Rz1_{\text{schwache Intensität visueller Reiz}} > Rz1_{\text{starke Intensität visueller Reiz}}$$

### 4. Flaschenhals-Interferenz

Wenn die parallele perceptive Verarbeitung bei älteren Personen durch Flaschenhals-Interferenz gestört ist, sollten *unabhängig vom SOA* folgende Reaktionszeitparameter beobachtet werden:

$$Rz2_{\text{schwache Intensität visueller Reiz}} > Rz2_{\text{starke Intensität visueller Reiz}}$$

$$Rz1: \text{ weder durch SOA noch durch Intensitätsmanipulation beeinflusst}$$

## 2.2 EXPERIMENT 1(A)

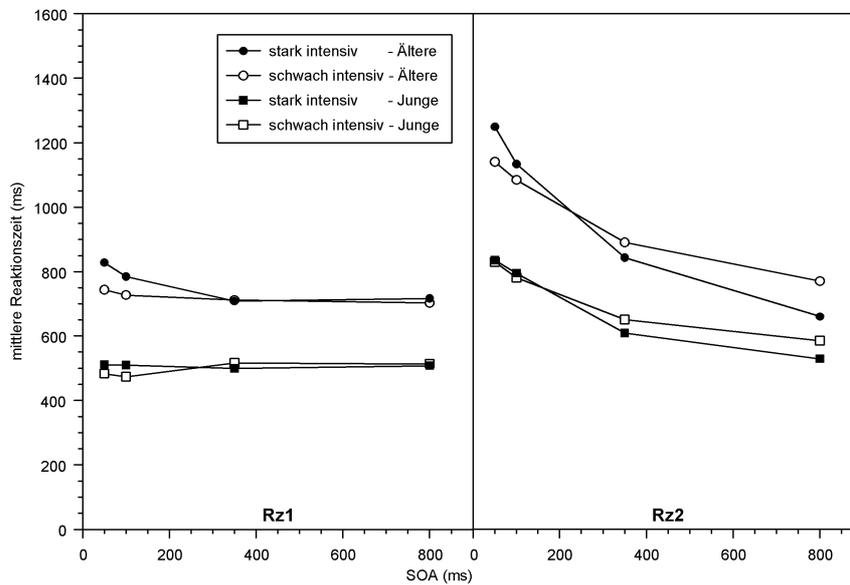
### 2.2.4. Ergebnisse

**Datenanalyse** In die Auswertung aller Experimente gingen nur  $Rz > 0$  ein. Es wurden nur Doppelaufgabentrials in die Analyse einbezogen, bei denen beide Antworten richtig waren. In der Regel wurden multivariate Varianzanalysen gerechnet. Als Irrtumswahrscheinlichkeit wurde  $\alpha = 0.05$  festgesetzt. Gegebenenfalls wurde nach Bonferoni (Bortz, Lienert & Boehnke, 1990) korrigiert. Die Berechnungen wurden mit dem Statistikpaket SPSS durchgeführt.

**Reaktionszeitanalyse** Zunächst wurden die mittleren Rz der Doppelaufgabenbedingung für Aufgabe 2 und Aufgabe 1 analysiert. Im Mittelpunkt der Reaktionszeitanalyse stand die Frage, ob in Rz2 eine unteradditive Interaktion zwischen SOA und Intensität des visuellen Reizes auftritt, die als ein Indikator für eine parallele perzeptive Verarbeitung in der Doppelaufgabe angesehen werden kann. In der Ergebnisdarstellung werden aus diesem Grund stets die statistischen Resultate von Aufgabe 2 vor Aufgabe 1 berichtet.

*Aufgabe 2* Abbildung 5 / rechte Seite zeigt die mittleren Rz2 der jungen und älteren Probanden in Abhängigkeit von SOA und Intensität des visuellen Reizes. Über die mittleren Rz2 in Abhängigkeit von Alter, SOA und Intensität wurde eine Varianzanalyse (ANOVA) mit den Faktoren SOA (viergestuft) und Intensität (zweigestuft) mit Meßwiederholung innerhalb der Versuchspersonen durchgeführt. Alter wurde als Zwischengruppenfaktor eingesetzt.

## 2.2 EXPERIMENT 1(A)



**Abbildung 5.** Experiment 1(a). Mittlere Rz für die erste Reaktion (Rz1; links) und die zweite Reaktion (Rz2; rechts) in Abhängigkeit von Alter und SOA für die stark intensive (einfach) und schwach intensive (schwierig) Bedingung von Aufgabe 2.

Abbildung 5 zeigt deutliche Unterschiede zwischen der Performanz junger und älterer Probanden. Entsprechend erbrachte die Varianzanalyse eine signifikante Dreifachinteraktion zwischen SOA, Intensität und Alter,  $F(3,66) = 4.53$ ,  $p = 0.006$ , die folgende Unterschiede zwischen jungen und älteren Probanden widerspiegelt.

In der jungen Gruppe wurde die von Pashler und Johnston (1989) beschriebene unteradditive Interaktion zwischen SOA und Intensität repliziert. Die signifikante Reaktionszeitdifferenz, die zwischen stark intensiven und schwach intensiven Reizen bei langem SOA auftrat, reduzierte sich bei kurzem SOA deutlich (Tabelle 2). In den mittleren Rz2 der jungen Probanden zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt des

## 2.2 EXPERIMENT 1(A)

Faktors Intensität,  $F(1,11) = 7.45$ ,  $p = 0.02$ , und eine signifikante Wechselwirkung zwischen Intensität X SOA,  $F(3,33) = 2.89$ ,  $p = 0.05$ .

Die ältere Gruppe zeigte ein anderes Ergebnismuster. Unter langen SOA-Bedingungen traten wie in der jungen Gruppe signifikant höhere Rz2 für schwach intensive Reize als für stark intensive Reize auf (Tabelle 2). Dagegen zeigt Abbildung 5 den umgekehrten Effekt unter kurzen SOA-Bedingungen. Entgegen aller Hypothesen zeigten die älteren Probanden bei kurzem SOA signifikant höhere Rz2 für stark intensive Reize als für schwach intensive Reize (Tabelle 2).

Der Reaktionszeitanstieg<sup>5</sup> für stark intensive Reize im Vergleich zu schwach intensiven Reizen ist auch beim SOA 100 noch deutlich erkennbar ( $M = 49$  ms,  $t(1,11) = 2.26$ ,  $p = 0.045$ ). Entsprechend war die Interaktion zwischen SOA X Intensität in der älteren Gruppe zwar ebenfalls signifikant,  $F(3,33) = 16.64$ ,  $p < 0.001$ , es trat jedoch kein signifikanter Haupteffekt des Faktors Intensität auf,  $F(1,11) < 1$ . Der Reaktionszeitanstieg in den mittleren Rz2 der älteren Gruppe stellt einen Widerspruch zu den Ergebnissen der jungen Personen im aktuellen Experiment, und in früheren Untersuchungen dar (Pashler & Johnston, 1989) und kann nicht im Sinne einer parallelen perzeptiven Verarbeitung interpretiert werden.

Weiterhin erbrachte die ANOVA über die mittleren Rz2 beider Gruppen einen signifikanten Haupteffekt des Faktors SOA,  $F(3,66) = 308.09$ ,  $p < 0.001$ . Das zeigt den erwarteten PRP-Effekt. Die signifikante Wechselwirkung zwischen SOA X Alter,  $F(3,66) = 20.53$ ,  $p < 0.001$ , zeigt an, daß der PRP-Effekt in der älteren Gruppe stärker ausgeprägt war, als in der jungen Gruppe.

Wie Abbildung 5 zeigt, war die mittlere Rz2 in der älteren Gruppe gegenüber der jungen Gruppe generell verlangsamt,  $F(1,22) = 25.67$ ,  $p < 0.001$ .

---

<sup>5</sup> Der Begriff „Reaktionszeitanstieg“ wird fortan für einen Anstieg von Rz 1 und Rz 2 bei kurzem SOA (50 oder 100 ms) und starker Intensität des visuellen Reizes verwendet.

## 2.2 EXPERIMENT 1(A)

**Tabelle 2.** Experiment 1(a). Mittlere Differenz der Rz zwischen schwach- und stark intensiven visuellen Reizen (Aufgabe 2) und zwischen Tönen vor einem schwach- oder stark intensiven visuellen Reiz (Aufgabe 1) bei SOA 50 und SOA 800 für die ältere im Vergleich zur jungen Versuchsgruppe. n=Stichprobenumfang; M=Mittelwert; s=Standardabweichung

Gruppe	Mittlere RzDifferenz (ms)							
	Aufgabe 2				Aufgabe 1			
	SOA 50		SOA 800		SOA 50		SOA 800	
	M	(s)	M	(s)	M	(s)	M	(s)
Junge; n = 12	-5.6	(57.0)	55.8**	(38.6)	-27.5	(44.1)	5.7	(42.9)
Ältere; n = 12	-108.7*	(143.6)	110.5**	(61.5)	-82.7*	(105.2)	-12.8	(71.6)

*Aufgabe 1* Wie für die mittleren Rz2 wurde eine Varianzanalyse über die mittleren Rz1 mit den Faktoren Alter, SOA und Intensität des visuellen Reizes durchgeführt.

Die Dreifachinteraktion zwischen Alter, SOA und Intensität war nicht signifikant,  $F(3,66) < 1$ . Der Faktor SOA beeinflusste die mittlere Rz1 in beiden Gruppen,  $F(3,66) = 5.29$ ,  $p = 0.002$ . Wie Abbildung 5/ links zeigt, trat bei jungen und älteren Personen ein Anstieg der mittleren Rz1 bei kurzem SOA und starker Intensität des visuellen Reizes auf. So zeigte die Wechselwirkung zwischen SOA X Intensität die Tendenz eines Unterschiedes,  $F(3,66) = 3.45$ ,  $p = 0.077$ .

Abbildung 5 zeigt, daß der Reaktionszeitanstieg für Töne, die kurz vor einem stark intensiven Reiz dargeboten wurden, in beiden Gruppen unterschiedlich stark ausgeprägt war. Dies spiegelt sich in einer signifikanten SOA X Alter Wechselwirkung wider,  $F(3,66) = 11.96$ ,  $p < 0.001$ . Wie Tabelle 2 zeigt, trat in der älteren Gruppe ein signifikanter Reaktionszeitanstieg auf, wenn der Ton kurz vor einem stark intensiven Reiz präsentiert wurde. Dieser Effekt war auch bei SOA 100 noch zu beobachten ( $M = -57$  ms,  $t(1,11) = 3.45$ ,  $p = 0.005$ ). Im Gegensatz dazu zeigte sich in der jungen Gruppe bei SOA 50 und Darbietung eines stark intensiven Reizes nur ein tendenzieller Anstieg von Rz1, ( $M = -27$  ms,  $t(1,11) = 2.16$ ,  $p = 0.054$ ; Tabelle 2).

## 2.2 EXPERIMENT 1(A)

Neben dem Anstieg der mittleren Rz1 bei kurzem SOA und starker Intensität des visuellen Reizes wurde keine Zunahme von Rz1 mit steigendem SOA beobachtet.

Die mittleren Rz1 der älteren Probanden waren generell gegenüber den Rz1 der jungen Probanden erhöht,  $F(1,22) = 27.13$ ,  $p < 0.001$ .

**Fehleranalyse** Tabelle 3 zeigt die Fehlerprozentage für Aufgabe 1 und Aufgabe 2 in Abhängigkeit von SOA und Intensität des visuellen Reizes.

*Aufgabe 2* Ältere Probanden begingen mehr Fehler, als junge Probanden,  $F(1,22) = 11.07$ ,  $p = 0.003$ . In beiden Gruppen traten mehr Fehler bei schwacher Intensität des visuellen Reizes auf,  $F(1,22) = 6.35$ ,  $p = 0.019$ . Unter kurzen SOA-Bedingungen lag die Fehlerrate in der älteren Gruppe höher als in der jungen Gruppe. Somit zeigte sich eine signifikante Wechselwirkung zwischen SOA X Alter,  $F(3,66) = 3.83$ ,  $p = 0.014$ . Es traten keine weiteren signifikanten Effekte auf.

*Aufgabe 1* Auch in Aufgabe 1 lag die Fehlerrate für ältere Personen höher als für junge Probanden,  $F(1,22) = 4.53$ ,  $p = 0.045$ . Tabelle 3 zeigt, daß die Fehlerrate in der älteren Gruppe besonders gegenüber der jungen Gruppe erhöht war, wenn ein stark intensiver Reiz nach dem Ton dargeboten wurde. Entsprechend war die Interaktion zwischen Alter X Intensität signifikant,  $F(1,22) = 6.76$ ,  $p = 0.016$ . Außerdem traten bei älteren Probanden auch unter langen SOA-Bedingungen Fehler auf, bei jungen Probanden dagegen nicht. Entsprechend wurde die Dreifachinteraktion zwischen SOA X Intensität X Alter signifikant,  $F(3,66) = 2.88$ ,  $p = 0.042$ . In beiden Gruppen stieg die Fehlerrate mit abnehmenden SOA,  $F(3,66) = 3.8$ ,  $p = 0.014$ . Tendenziell begingen junge und ältere Probanden mehr Fehler, wenn der Ton kurz vor einem stark intensiven Reiz dargeboten wurde,  $F(3,66) = 2.72$ ,  $p = 0.051$ .

## 2.2 EXPERIMENT 1(A)

*Vertauschungsfehler*, bei denen der visuelle Reiz vor dem Ton beantwortet wurde, jedoch die richtigen Tasten Verwendung fanden, gingen weder in die Reaktionszeit- noch in die Fehleranalyse ein. In der jungen wie in der älteren Gruppe traten kaum Vertauschungsfehler auf (Tabelle 23; Anhang A<sub>1</sub>).

**Tabelle 3.** Experiment 1(a). Mittlere Fehlerprozentage in Aufgabe 1 und Aufgabe 2 in Abhängigkeit von Alter, SOA und Schwierigkeitsmanipulation von Aufgabe 2. *M* = Mittelwert; *s* = Standardabweichung

			SOA (ms)							
			Aufgabe 1				Aufgabe 2			
Intensität	Visueller Reiz		50	100	350	800	50	100	350	800
Ältere	Stark	<i>M</i>	1.5	1.6	0.4	0.5	0.6	1.3	0.1	0.6
		<i>(s)</i>	(1.4)	(1.8)	(0.6)	(0.7)	(0.9)	(1.8)	(0.4)	(0.9)
	Schwach	<i>M</i>	0.2	0.7	0.5	0.8	1.0	2.1	1.0	1.3
		<i>(s)</i>	(0.5)	(1.1)	(0.7)	(2.0)	(1.2)	(2.3)	(0.9)	(1.3)
Junge	Stark	<i>M</i>	0.6	0.2	0.1	0.0	0.8	0.1	0.1	0.0
		<i>(s)</i>	(0.7)	(0.5)	(0.4)	(0.0)	(0.7)	(0.4)	(0.4)	(0.0)
	Schwach	<i>M</i>	0.7	0.4	0.4	0.0	0.5	0.4	0.2	0.6
		<i>(s)</i>	(0.7)	(0.6)	(0.6)	(0.0)	(0.7)	(0.6)	(0.5)	(0.9)

**Einzelaufgaben** In die folgende Analyse gingen die mittleren Rz beider Gruppen für die visuellen und auditiven Einzelaufgaben ein.

*Visueller Einzelaufgabenblock* Eine ANOVA über die mittleren Rz der visuellen Einzelaufgaben zeigte, daß stark intensive Reize von jungen Probanden ( $M = 479.02$  ms) schneller beantwortet wurden als von älteren Probanden ( $M = 571.3$  ms),  $F(1,22) = 23.24$ ,  $p = 0.001$ . Das gleiche galt für schwach intensive Reize; junge Probanden ( $M = 527.62$  ms); ältere Probanden ( $M = 665.2$  ms),  $F(1,22) = 32.34$ ,  $p < 0.001$ .

## 2.2 EXPERIMENT 1(A)

*Auditiver Einzelaufgabenblock* Auch die auditiven Einzelreaktionszeiten der älteren Probanden ( $M = 519.2$  ms) lagen signifikant über denen der jungen Gruppe ( $M = 396.1$  ms),  $F(1,22) = 12.27$ ,  $p = 0.02$ .

Aus den Ergebnissen kann gefolgert werden, daß neben den Unterschieden in der Doppelaufgabenperformanz auch Gruppenunterschiede bei der Ausführung der Einzelaufgaben auftraten.

### 2.2.5 Diskussion zu Experiment 1(a)

In Experiment 1(a) sollte untersucht werden, ob gesunde ältere Personen ebenso wie eine junge Vergleichsgruppe zur parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe fähig sind. Ausgehend von einem Ansatz von Pashler und Johnston (1989) wurde die Intensität des visuellen Reizes, und so die Schwierigkeit der perzeptiven Verarbeitung von Aufgabe 2 manipuliert. Wenn unabhängig vom Alter eine parallele perzeptive Verarbeitung in der Doppelaufgabe stattfindet, sollte bei jungen und älteren Personen eine unteradditive Interaktion zwischen SOA und Intensitätsmanipulation in Rz2 nachweisbar sein.

Das wichtigste Resultat bezüglich unserer Fragestellung war eine signifikante Dreifachinteraktion zwischen Alter, SOA und Intensität des visuellen Reizes in Rz2. Dies ist ein klarer Hinweis, daß sich junge und ältere Personen hinsichtlich der Verarbeitung der auditiven und visuellen Perzeptionsstufen in der Doppelaufgabe unterschieden. In der jungen Gruppe wurde die erwartete unteradditive Interaktion (z.B. Pashler & Johnston, 1989) repliziert. Somit kann für die junge Gruppe gefolgert werden, daß die auditiven und visuellen Perzeptionsstufen in der Doppelaufgabe parallel, d.h. ohne gegenseitige Interferenz verarbeitet wurden. Die Ergebnisse der älteren Personen zeigten dagegen ein anderes Bild. In der älteren Gruppe trat in beiden

## 2.2 EXPERIMENT 1(A)

Reaktionen ein Reaktionszeitanstieg bei kurzem SOA und starker Intensität des visuellen Reizes auf. Diese Befunde der älteren Probanden konnten mit einer unabhängigen älteren Gruppe repliziert werden (siehe 4.2.4).

Als eine Hypothese für die Doppelaufgabenperformanz der älteren Gruppe wurde die Annahme der generellen Verlangsamung aufgestellt. In Übereinstimmung mit dieser Annahme waren Rz1 und Rz2 der älteren Gruppe in Experiment 1(a) gegenüber den Rz1 und Rz2 der jungen Gruppe erhöht. Eine generelle Verlangsamung kann jedoch den Reaktionszeitanstieg in Rz1 und Rz2 der älteren Gruppe nicht erklären, der bei kurzem SOA und starker Intensität des visuellen Reizes auftrat, und so nicht unabhängig von der Überlappung der Aufgaben war.

Die Befunde der älteren Personen weisen auf eine Störung der parallelen perceptiven Verarbeitung durch erhöhte Interferenz hin.

Zwei Hypothesen wurden formuliert, um das Auftreten perceptiver Interferenz in der älteren Gruppe zu erklären. Die Ressourcen-Interferenz Hypothese (Abschnitt 2.1) nahm an, daß es bei schwacher Intensität des visuellen Reizes und bei kurzem SOA zu einer Konkurrenz um Verarbeitungsressourcen kommt, welche die Performanz beider Aufgaben beeinträchtigt. Bei kurzem SOA und schwacher Intensität des visuellen Reizes hätte folglich ein Anstieg von Rz1 und Rz2 auftreten müssen. Diese Prädiktionen der Ressourcen-Interferenz Hypothese bestätigten sich nicht. Ein Anstieg von Rz1 wie auch von Rz2 war bei starker Intensität, d.h. unter der perceptiv einfachen Bedingung, und nicht bei schwacher Intensität, d.h. bei erhöhter perceptiver Schwierigkeit des visuellen Reizes, nachweisbar.

Die Flaschenhals-Interferenz Hypothese (Abschnitt 2.1) ging davon aus, daß der zusätzliche perceptive Verarbeitungsanteil des schwach intensiven Reizes von älteren Personen nicht parallel mit der perceptiven Verarbeitung von Aufgabe 1 verarbeitet werden kann. Unabhängig vom SOA sollte Rz2 bei schwacher Intensität des visuellen

## 2.2 EXPERIMENT 1(A)

Reizes um diesen zusätzlichen Verarbeitungsanteil verlängert sein. Diese Annahme stimmt mit den aktuellen Befunden nicht überein. Rz2 stieg nicht bei der Darbietung schwach intensiver Reize, sondern bei starker Intensität des visuellen Reizes an. Der aufgetretene Reaktionszeitanstieg war außerdem nur bei kurzem Abstand der Aufgaben zu beobachten, und folglich nicht unabhängig vom SOA. In Rz1 wären nach der Flaschenhals-Interferenz Hypothese keine Effekte der SOA-Variation oder der Manipulation der perzeptiven Schwierigkeit zu erwarten gewesen. Auch dies traf nicht zu, da auch in Rz1 ein Reaktionszeitanstieg bei kurzem SOA und starker Intensität auftrat.

Zur Begründung des signifikanten Effektes von SOA auf die mittleren Rz1 könnte eine Gruppierung der Reaktionen angenommen werden. Die Gruppierungsannahme beschreibt die Tendenz der Probanden, in einigen Trials die Reaktion auf die erste Aufgabe solange zurückzuhalten, bis auch die zweite Aufgabe nahezu komplett verarbeitet ist (McCann & Johnston, 1992). In diesem Fall sollte die mittlere Rz1 mit zunehmenden SOA ansteigen. Da weder die jungen Probanden noch die älteren Probanden einen signifikanten Anstieg der Rz1 bei langem SOA zeigten, sondern die Verzögerung der Rz1 ausschließlich bei kurzem SOA und starker Intensität des visuellen Reizes auftrat, ist es nicht wahrscheinlich, daß der Anstieg in Rz1 lediglich durch Gruppierung hervorgerufen wurde.

### 2.3 CROSS-MODALE INTERFERENZ

Nach der Diskussion von Ressourcen-Interferenz, Flaschenhals-Interferenz und Gruppierung wird klar, daß der beobachtete und replizierte Reaktionszeitanstieg in Rz1 und Rz2 der älteren Probanden nicht mit klassischen Ansätzen zur Erklärung von Doppelaufgabeninterferenz begründet werden kann. Es bleiben zwei wichtige Frage offen:

1. Warum tritt perzeptive Interferenz bei älteren Personen ausgerechnet unter perzeptiv *einfachen* Bedingungen auf?
2. Warum wird die Performanz *beider* Aufgaben durch perzeptive Interferenz unter perzeptiv einfachen Bedingungen gestört?

Zur Beantwortung dieser offenen Fragen wurde die Cross-Modale Interferenz Annahme als neuer Erklärungsansatz zur Begründung von Doppelaufgabeninterferenz entwickelt. Diese Annahme wird im Folgenden vorgestellt.

### 2.3 Cross-Modale Interferenz Annahme

Die Cross-Modale Interferenz Annahme (im Folgenden als CMI-Annahme abgekürzt) stellt eine Erweiterung klassischer Ansätze zur Erklärung von Doppelaufgabeninterferenz dar. In bisherigen Ansätzen wurde das Auftreten von perzeptiver Interferenz unter perzeptiv einfachen Bedingungen nicht in Betracht gezogen, und kann daher über bestehende Ansätze nicht erklärt werden. In den Ergebnissen von Experiment 1(a) und einem Replikationsexperiment (siehe 4.2.4) erwies sich eine altersbedingte Erhöhung perzeptiver Interferenz unter perzeptiv einfachen Bedingungen jedoch als ein stabiler Befund.

### 2.3 CROSS-MODALE INTERFERENZ

Im Folgenden wird die CMI-Annahme als neuer Ansatz zur Erklärung von Doppelaufgabeninterferenz vorgestellt, welcher die Entstehung von perzeptiver Interferenz unter perzeptiv einfachen Bedingungen begründen kann.

Die CMI-Annahme geht davon aus, daß in der Doppelaufgabensituation der zweite Reiz irrelevant für die Verarbeitung des ersten Reizes ist. Die Verarbeitung des zweiten Reizes muß folglich kurzzeitig unterdrückt werden, um nicht mit der Verarbeitung des ersten Reizes zu interferieren. Wenn der zweite Reiz nicht unterdrückt werden kann und mit der Verarbeitung des ersten Reizes interferiert, entsteht *Cross-Modale Interferenz*.

Als zwei entscheidende Einflußgrößen für die Entstehung von Cross-Modaler Interferenz werden die Intensität des visuellen Reizes und die Länge des SOA angenommen.

**Intensität des visuellen Reizes** Die Unterdrückung des zweiten visuellen Reizes sollte schwieriger sein, wenn der zweite Reiz eine hohe visuelle Salienz aufweist, als wenn die visuelle Salienz gegenüber dem Hintergrund gering ist (Theeuwes, 1991; Yantis, 1993). Visuelle Salienz bedeutet hierbei, daß sich ein einzelner Reiz von seiner Umgebung in mindestens einer Dimension deutlich unterscheidet, während die Reizumgebung bezüglich dieser Dimension relativ homogen ist (z.B. Yantis & Egeth, 1999). In den aktuellen Versuchsbedingungen sollte der stark intensive Reiz entsprechend eine hohe Salienz gegenüber dem schwarzen Hintergrund aufweisen, während die visuelle Salienz des schwach intensiven Reizes gering sein sollte.

Falls der stark intensive visuelle Reiz nicht unterdrückt werden kann, sollte er mit der Verarbeitung der ersten Aufgabe interferieren (Abbildung 6). Dies würde die Entstehung von Interferenz unter perzeptiv einfachen Bedingungen erklären.



### 2.3 CROSS-MODALE INTERFERENZ

**SOA-Manipulation** Der potentiell interferierende Einfluß des stark intensiven Reizes auf die Verarbeitung der ersten Aufgabe sollte um so stärker sein, je kürzer er nach dem Ton dargeboten wird. Interferenz zwischen dem stark intensiven Reiz und der Verarbeitung von Aufgabe 1 wäre folglich nur bei kurzem SOA, nicht aber bei langem SOA zu erwarten. Unter langen SOA Bedingungen ist die Verarbeitung des Tones weit fortgeschritten bzw. fast abgeschlossen, wenn der stark intensive Reiz dargeboten wird. Daher sollte der interferierende Einfluß des stark intensiven Reizes unter diesen Bedingungen kaum Wirkung zeigen.

Bei kurzem SOA sollte dagegen der stark intensive visuelle Reiz mit der Verarbeitung des Tones interferieren. Dies könnte den Doppelaufgabenverarbeitungsprozeß wie folgt beeinflussen.

**Auswirkungen auf den Doppelaufgabenverarbeitungsprozeß** Der interferierende Einfluß des stark intensiven Reizes bei kurzem SOA sollte die Verarbeitung des auditiven Reizes vor der Refraktärperiode (PRP) um einen Verarbeitungsanteil AP1 verlängern (Abbildung 6). AP1 sollte sich in einem Anstieg von Rz1 bei kurzem SOA und starker Intensität des visuellen Reizes niederschlagen.

Eine Störung der Verarbeitung des Tones vor der Refraktärperiode (PRP) sollte auch die Verarbeitung des stark intensiven Reizes selbst beeinflussen. Da die zentrale Verarbeitung (Antwortauswahl) des Tones und des visuellen Reizes einem Flaschenhals unterliegen und der Ton zuerst beantwortet werden muß, wird die zentrale Verarbeitung der visuellen Aufgabe solange verzögert, bis die zentrale Verarbeitung der auditiven Aufgabe abgeschlossen ist. Eine Verlängerung der Verarbeitungszeit des auditiven Reizes vor der Refraktärperiode (PRP) bei kurzem SOA und starker Intensität des visuellen Reizes sollte so unter den gleichen Bedingungen eine Verzögerung der

### 2.3 CROSS-MODALE INTERFERENZ

zentralen Verarbeitung des visuellen Reizes (AP2) nach sich ziehen. Folglich wäre auch ein Anstieg von Rz2 bei kurzem SOA und Darbietung eines stark intensiven Reizes zu erwarten.

Cross-Modale Interferenz bewirkt somit einen Anstieg von Rz1 und Rz2 bei starker Intensität des visuellen Reizes (einfache Bedingung von Aufgabe 2) und kurzem SOA. Dies entspricht den Befunden, die in Experiment 1(a) für die ältere Gruppe beobachtet wurden. Alternative Ansätze zur Erklärung des Reaktionszeitanstieges in Rz1 und Rz2 werden später (Abschnitt 2.5.3) diskutiert. Im Folgenden wird darauf eingegangen, wie die Unterschiede zwischen jungen und älteren Personen bezüglich der perzeptiven Verarbeitung von Reizen verschiedener Reizmodalitäten in der Doppelaufgabe über die CMI-Annahme erklärt werden können.

**Erklärung altersbedingter Unterschiede** Wie in Abschnitt 2.1 bereits ausgeführt wurde, weisen eine Reihe von Befunden darauf hin, daß die Fähigkeit zur Unterdrückung irrelevanter Reize mit dem Alter abnimmt (z.B. Alain & Woods, 1999; Chao & Knight, 1997; McDowd & Filion, 1992). In der aktuellen Doppelaufgabe könnte eine altersbedingte Einschränkung inhibitorischer Fähigkeiten dazu führen, daß der stark intensive Reiz nicht unterdrückt werden kann und folglich mit der Verarbeitung des Tones interferiert. In diesem Fall sollte bei älteren Personen im Vergleich zu jungen Personen die Wahrscheinlichkeit erhöht sein, daß Cross-Modale Interferenz zwischen den visuellen und auditiven Perzeptionsverarbeitungsstufen auftritt. Dies könnte erklären, warum die parallele perzeptive Verarbeitung der verschiedenen Reize in der Doppelaufgabe bei älteren Personen gestört war, während junge Personen unter den gleichen Bedingungen zur parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Lage sind.

### 2.3 CROSS-MODALE INTERFERENZ

**Prädiktionen** Nach der CMI-Annahme sollte die Störung der parallelen perceptiven Verarbeitung bei älteren Personen durch die starke Intensität des visuellen Reizes begünstigt werden, welche zu einer hohen visuellen Salienz des Reizes vor dem schwarzen Hintergrund führt. Somit sollte eine Abschwächung der Intensität des stark intensiven Reizes mit einer Verminderung von perceptiver Interferenz bei älteren Personen einhergehen. In diesem Fall wäre zu erwarten, daß ältere Personen eine Reduktion des Reaktionszeitanstieges in Rz1 und Rz2 bei kurzem SOA und starker Intensität zeigen. Idealerweise sollten ältere Personen nach Abschwächung der Intensität des stark intensiven Reizes zur parallelen Verarbeitung der auditiven und visuellen Perzeptionsstufen in der Lage sein, d.h. vergleichbare Ergebnisse zeigen, wie junge Probanden.

In Experiment 1(b) wurde diese Prädiktion der CMI-Annahme empirisch überprüft.

## 2.4 Experiment 1(b)

### 2.4.1 Fragestellung

In Experiment 1(b) wurde untersucht, ob ältere Personen nach Abschwächung der Intensität des stark intensiven Reizes wie junge Personen zur parallelen perceptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe fähig sind.

### 2.4.2 Methode

Elf Versuchspersonen nahmen gegen ein Entgelt am Experiment teil. Wie aus Tabelle 4 zu entnehmen ist, waren die Probanden so ausgewählt, daß Durchschnittsalter und der mittlere maximale Schulabschluß vergleichbar mit der älteren Gruppe in Experiment 1(a) waren.

**Versuchsdesign** Versuchsdesign und Versuchsablauf wie auch die Datenauswertung waren identisch zu Experiment 1(a). Im Vergleich zu Experiment 1(a) wurde in Experiment 1(b) jedoch die Leuchtintensität des stark intensiven Reizes von  $42.7 \text{ cd/m}^2$  auf  $9.6 \text{ cd/m}^2$  reduziert. Um dennoch eine reliable Reaktionszeitdifferenz zwischen schwach intensiven und stark intensiven Reizen zu gewährleisten, wurde zusätzlich der Bildschirmhintergrund von tiefschwarz ( $0 \text{ cd/m}^2$ ) nach grau ( $0.51 \text{ cd/m}^2$ ) aufgehellt. Der

#### 2.4 EXPERIMENT 1(B)

Intensitätsgrad der schwach intensiven Reize wurde wie in Experiment 1(a) vor dem Hauptteil der Untersuchung individuell adaptiert. Die Adaptationsperiode umfaßte wiederum fünf Stufen, in denen die Leuchtintensität der schwach intensiven Reize gegenüber dem Bildschirmhintergrund von Stufe 1 zu Stufe 5 abnahm (2.33 cd/m<sup>2</sup>; 1.47cd/m<sup>2</sup>; 1.22cd/m<sup>2</sup>; 1cd/m<sup>2</sup>; 0.81cd/m<sup>2</sup>). Die Lautstärke der auditiven Reize lag wie in Experiment 1(a) bei 70 dB/spl.

**Tabelle 4.** Demographische Daten der älteren Stichprobe aus Experiment 1(b) im Vergleich zur älteren Stichprobe aus Experiment 1(a). *M* = Mittelwert; *s* = Standardabweichung; Geschlecht = weiblich/männlich; Schulbildung = höchster Schulabschluß; Mann-Whitney = nonparametrischer Test auf Gruppenunterschiede.

	Ältere Personen					
	Experiment 1a		Experiment 1b		Mann-Whitney	
	M	(s)	M	(s)	<i>U</i>	<i>p</i>
Alter in Jahren	57	(6)	58	(5)	62.5	0.83
Altersspanne	42-64	-	50-67	-	-	-
Geschlecht	8/4	-	5/6	-	-	-
Schulbildung	10	(2)	9	(2)	49.5	0.28

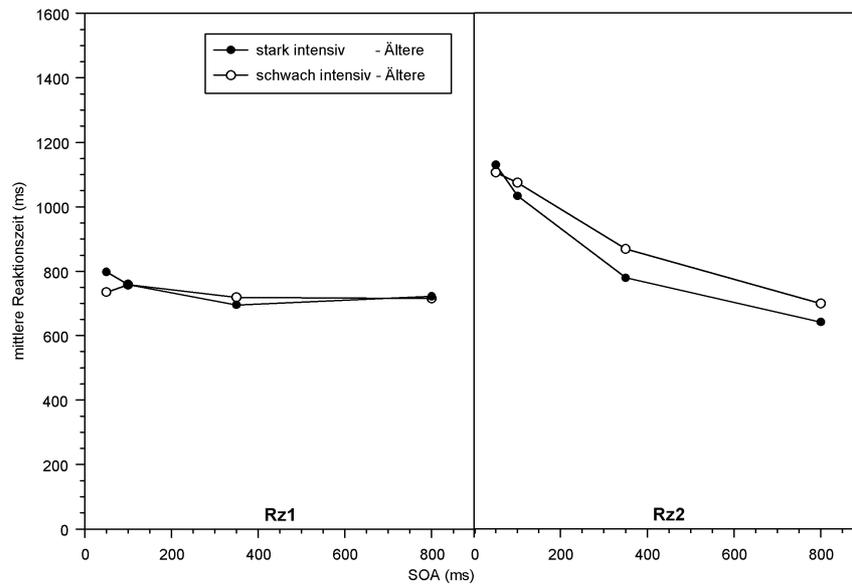
#### 2.4.3 Ergebnisse

**Reaktionszeitanalyse** Zunächst wurden die mittleren Rz der Doppelaufgabenbedingung für Aufgabe 2 und Aufgabe 1 analysiert.

*Aufgabe 2* Für die mittleren Rz<sub>2</sub> wurde eine Varianzanalyse für wiederholte Messungen mit den Faktoren SOA und Intensität des visuellen Reizes durchgeführt. Die Frage von Experiment 1(b) war, ob eine Abschwächung der Intensität der stark intensiven Reize die perzeptive Interferenz bei älteren Probanden reduziert. Im Falle einer Reduktion von perzeptiver Interferenz sollte sich in Experiment 1(b) im Vergleich

## 2.4 EXPERIMENT 1(B)

zur Performanz der älteren Gruppe in Experiment 1(a) der Reaktionszeit- anstieg bei kurzem SOA und starker Intensität verringern.



**Abbildung 7.** Experiment 1(b). Mittlere Rz für die erste Reaktion (Rz1; links) und die zweite Reaktion (Rz2; rechts) in Abhängigkeit von SOA für die abgeschwächte stark intensive (einfach) und schwach intensive Bedingung von Aufgabe 2 für eine Gruppe älterer Probanden.

Wie Abbildung 7 / rechts zeigt, ähnelt die Rz2 Funktion der älteren Probanden in Experiment 1(b) der Rz2 Funktion der jungen Gruppe aus Experiment 1(a). Die Varianzanalyse erbrachte einen signifikanten Effekt des Faktors SOA,  $F(3,30) = 101.88$ ,  $p < 0.001$ . Im Gegensatz zu den Ergebnissen der älteren Gruppe aus Experiment 1(a) war in Experiment 1(b) auch der Faktor Intensität signifikant,  $F(1,10) = 10.98$ ,  $p = 0.008$ . Tabelle 5 zeigt, daß bei langem SOA signifikant höhere Rz2 für schwach intensive Reize im Vergleich zu stark intensiven Reizen auftraten. Diese Reaktionszeit-

#### 2.4 EXPERIMENT 1(B)

differenz nahm bei kurzem SOA auf den nicht signifikanten Wert von -23 ms ab (Tabelle 5). So war auch die Wechselwirkung zwischen SOA X Intensität signifikant,  $F(3,30) = 3.69$ ,  $p = 0.022$ .

Wichtig ist, daß bei älteren Personen unter den modifizierten Reizbedingungen von Experiment 1(b) kein signifikanter Reaktionszeitanstieg bei kurzem SOA und starker Intensität des visuellen Reizes auftrat. Dies steht im Gegensatz zu den Resultaten der älteren Gruppe in Experiment 1(a).

**Tabelle 5.** Experiment 1(b). Mittlere Differenz der Rz zwischen schwach- und stark intensiven visuellen Reizen (Aufgabe 2) und für Töne vor einem schwach- oder stark intensiven visuellen Reiz (Aufgabe 1) bei SOA 50 und SOA 800 für die ältere Versuchsgruppe.  $n$  = Stichprobenumfang;  $M$  = Mittelwert;  $s$  = Standardabweichung

Gruppe	Mittlere RzDifferenz (ms)							
	Aufgabe 2				Aufgabe 1			
	SOA 50		SOA 800		SOA 50		SOA 800	
	$M$	$(s)$	$M$	$(s)$	$M$	$(s)$	$M$	$(s)$
Ältere; $n = 11$	-23.4	(81.1)	58.3*	(72.2)	-62.6	(100.3)	-6.8	(86.1)

*Aufgabe 1* Abbildung 7/ links zeigt die mittleren Rz1. Die ANOVA für wiederholte Messungen mit den Variablen SOA und Intensität des visuellen Reizes zeigte weder einen signifikanten Effekt für SOA,  $F(3,30) = 2.65$ ,  $p = 0.067$ , noch für Intensität,  $F(1,10) = 1.56$ ,  $p = 0.24$ , noch für die Interaktion zwischen SOA X Intensität,  $F(1,10) = 1.92$ ,  $p = 0.148$ . Wie Abbildung 7 zeigt, sind die Rz für Töne, die kurz vor stark intensiven Reizen dargeboten wurden, erhöht. Der Reaktionszeitanstieg in Rz1, ist jedoch im Vergleich zur älteren Gruppe in Experiment 1(a) verringert ( $M = -62$  ms;  $t(1,10) = 2.07$ ,  $p = 0.065$ ; siehe Tabelle 5).

2.4 EXPERIMENT 1(B)

**Fehleranalyse** Tabelle 6 zeigt die Fehlerprozentage für Aufgabe 1 und Aufgabe 2 in Abhängigkeit von SOA und Intensität des visuellen Reizes.

*Aufgabe 2* Die Fehlerprozentage bei schwacher Intensität des visuellen Reizes waren tendenziell gegenüber den Fehlerprozentagen bei starker Intensität des visuellen Reizes erhöht,  $F(1,10) = 8.77$ ,  $p = 0.058$ , (Tabelle 6). Die Varianzanalyse erbrachte keine weiteren signifikanten Effekte.

*Aufgabe 1* Die ANOVA für die mittleren Fehlerprozentage von Aufgabe 1 zeigte keine signifikanten Effekte.

Es traten kaum Vertauschungsfehler auf (Tabelle 23; Anhang A1).

**Tabelle 6.** Experiment 1(b). Mittlere Fehlerprozentage in Aufgabe 1 und Aufgabe 2 in Abhängigkeit von Alter, SOA und Schwierigkeitsmanipulation von Aufgabe 2.  $M$  = Mittelwert;  $s$  = Standardabweichung

		SOA (ms)							
		Aufgabe 1				Aufgabe 2			
Intensität visueller Reiz		50	100	350	800	50	100	350	800
Ältere	stark	$M$ 1.1	1.1	0.6	0.1	1.0	0.8	0.3	0.9
		$(s)$ (1.6)	(1.7)	(1.0)	(0.4)	(1.7)	(1.0)	(0.6)	(0.9)
	schwach	$M$ 0.6	0.6	0.5	0.6	1.4	1.6	1.1	1.8
		$(s)$ (1.4)	(1.1)	(1.1)	(1.3)	(1.5)	(2.3)	(1.5)	(2.8)

**Weitere Analysen** Abbildung 7, wie auch die statistischen Analysen zeigten, daß ältere Personen unter den modifizierten Reizbedingungen vergleichbare Effekte zur jungen Gruppe in Experiment 1(a) aufwiesen. Im Gegensatz dazu, trat bei der älteren Gruppe in Experiment 1(a) ein signifikanter Reaktionszeitanstieg bei ungeminderter Intensität des stark intensiven Reizes und kurzem SOA auf. Im Folgenden soll die Validität des Einflusses der Reizmodifikation in Experiment 1(b) im Vergleich zu Experiment 1(a) noch einmal statistisch getestet werden. Dazu wurde eine ANOVA mit den Faktoren

#### 2.4 EXPERIMENT 1(B)

SOA und Intensität des visuellen Reizes und dem Zwischengruppenfaktor Experiment über die mittleren Rz1 und Rz2 der älteren Probanden von Experiment 1(a) und Experiment 1(b) gerechnet.

*Aufgabe 2* Die Varianzanalyse erbrachte keinen signifikanten Effekt des Faktors Experiment,  $F(1,21) < 1$ . Dies zeigt, daß sich das Reaktionszeitniveau der beiden Gruppen nicht unterschied.

Das wichtigste Resultat war die signifikante Dreifachinteraktion zwischen SOA X Intensität X Experiment,  $F(3,63) = 3.66$ ,  $p = 0.017$ , welche zeigt, daß die Doppelaufgabenperformanz der älteren Personen durch die Abschwächung der Intensität des stark intensiven Reizes beeinflusst wurde. Die Ergebnisse der älteren Probanden in Experiment 1(b) waren vergleichbar zu den Resultaten der jungen Probanden. Im Gegensatz dazu trat in der älteren Gruppe in Experiment 1(a) ein Reaktionszeitanstieg in Rz1 und Rz2 auf.

Beide Gruppen zeigten den erwarteten PRP-Effekt, was sich im signifikanten Haupteffekt von SOA niederschlug,  $F(3,63) = 10.32$ ,  $p < 0.001$ . Weiterhin zeigte sich eine signifikante SOA X Intensität Interaktion,  $F(3,63) = 16.22$ ,  $p < 0.001$ . Es traten keine weiteren signifikanten Effekte auf.

*Aufgabe 1* Bezüglich der mittleren Rz1 unterschieden sich beide Gruppen nicht,  $F(1,21) < 1$ . Die Varianzanalyse zeigte signifikante Effekte für SOA,  $F(3,63) = 10.32$ ,  $p < 0.001$ , und Intensität,  $F(1,21) = 8.94$ ,  $p = 0.007$ , und eine signifikante SOA X Intensität Interaktion,  $F(3,63) = 4.97$ ,  $p = 0.004$ . Dies spiegelt den Reaktionszeitanstieg in Rz1 wider, der in Experiment 1(b) schwächer auftrat, als in Experiment 1(a).

#### 2.4 EXPERIMENT 1(B)

##### **Fehleranalyse**

*Aufgabe 2* Die mittleren Fehlerprozentage der beiden Gruppen in Aufgabe 2 unterschieden sich nicht,  $F(1,21) < 1$ . Beide Gruppe begingen mehr Fehler bei kurzem SOA,  $F(3,63) = 2.81$ ,  $p = 0.047$ . Außerdem traten höhere Fehlerraten bei schwacher Intensität des visuellen Reizes auf,  $F(1,21) = 8.16$ ,  $p = 0.009$ . Es wurden keine weiteren signifikanten Effekte festgestellt.

*Aufgabe 1* Auch in Aufgabe 1 unterschieden sich die mittleren Fehlerprozentage der Gruppen nicht,  $F(1,21) < 1$ . SOA,  $F(3,63) = 4.2$ ,  $p = 0.009$ , und Intensität,  $F(1,21) = 7.45$ ,  $p = 0.013$ , zeigten signifikante Haupteffekte und eine signifikante Wechselwirkung,  $F(3,63) = 4.19$ ,  $p = 0.009$ , da in beiden Gruppen die meisten Fehler begangen wurden, wenn ein Ton kurz vor einem stark intensiven Reiz dargeboten wurde.

#### 4.4 Diskussion zu Experiment 1(b)

Experiment 1(b) sollte untersuchen, ob eine Abschwächung der Intensität des stark intensiven Reizes zu einer Reduktion der perzeptiven Interferenz bei älteren Probanden führt, wie dies von der CMI-Annahme vorhergesagt wird.

Das wichtigste Ergebnis von Experiment 1(b) war die deutliche Abnahme des Reaktionszeitanstieges in Rz1 und Rz2, im Vergleich zu den Resultaten der älteren Gruppe aus Experiment 1(a). Der Reaktionszeitanstieg in Rz1 und Rz2 bei kurzem SOA und starker Intensität kann als Indikator für Cross-Modale Interferenz angesehen werden, die eine parallele perzeptive Verarbeitung bei älteren Personen stört. Die deutliche Reduktion dieses Effektes in Experiment 1(b) zeigt somit, daß eine Abschwächung der Intensität des stark intensiven Reizes mit einer Verminderung von

#### 2.4 EXPERIMENT 1(B)

Cross-Modaler Interferenz bei älteren Personen einherging. Somit bestätigten die Befunde von Experiment 1(b) die Prädiktionen der CMI-Annahme.

Dabei kann nicht ausgeschlossen werden, daß bei den älteren Probanden in Experiment 1(b) die Verarbeitung des Tones teilweise noch immer beeinflusst wurde. Darauf weist ein dezenter Anstieg von Rz1 und Rz2 unter der stark intensiven Bedingung von Aufgabe 2 im Vergleich zur schwach intensiven Bedingung von Aufgabe 2 bei kurzem SOA hin. Diese Effekte waren jedoch nicht signifikant und von weitaus geringerem Ausmaß als bei der älteren Gruppe in Experiment 1(a).

Wie bei jungen Personen trat bei den älteren Probanden in Experiment 1(b) eine unteradditive Interaktion zwischen SOA und Intensität in Rz2 auf. Dieses Ergebnis zeigt an, daß ältere Personen prinzipiell zur parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe fähig sind. Im Vergleich zu jungen Personen ist die parallele perzeptive Verarbeitung in der Doppelaufgabe bei älteren Personen jedoch nur in einem eingeschränkten Rahmen von Bedingungen möglich.

## 2.5 Diskussion des kognitionspsychologischen Teils

### 2.5.1 Parallele perzeptive Verarbeitung bei jungen und älteren Personen

Im ersten Teil der Arbeit wurde untersucht, ob neurologisch gesunde ältere Personen wie junge Personen zur parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe fähig sind.

Junge und ältere Probanden unterschieden sich bezüglich der parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe. Diese wichtige Aussage kann auf der Basis einer signifikanten Dreifachinteraktion zwischen SOA, Intensität und Gruppe getroffen werden. In der jungen Gruppe wurde die erwartete unteradditive Interaktion zwischen SOA und Intensitätsmanipulation in Rz2 repliziert. Im Gegensatz dazu trat in der älteren Gruppe ein signifikanter Reaktionszeitanstieg in Rz1 und Rz2 bei kurzem SOA und starker Intensität des visuellen Reizes auf. Diese Effekte konnten mit einer unabhängigen Gruppe älterer Probanden repliziert werden (siehe Abschnitt 4.2.4).

Der Reaktionszeitanstieg in Rz1 und Rz2 bei älteren Probanden ist ein überraschender Befund, der weder durch generelle Verlangsamung, noch durch Ressourcen-Interferenz oder Flaschenhals-Interferenz erklärt werden kann. Entgegen aller Annahmen wurde die parallele perzeptive Verarbeitung bei älteren Personen unter perzeptiv einfachen Bedingungen durch Interferenz gestört, welche die Performanz von

Rz1 und Rz2 beeinträchtigte. Da keiner der klassischen Ansätze diese Befunde erklären kann, wurde die Annahme der Cross-Modalen-Interferenz entwickelt (siehe 2.2.3).<sup>6</sup>

Die CMI-Annahme prädiziert, daß die Interferenz zwischen auditiven und visuellen Perzeptionsstufen abnimmt, wenn die Intensität des stark intensiven Reizes reduziert ist. Dies wurde in Experiment 1(b) bestätigt. Nach Abschwächung der Intensität der stark intensiven Reize zeigten ältere Personen vergleichbare Ergebnisse wie junge Probanden. Es kann angenommen werden, daß ältere Personen unter modifizierten Bedingungen zur parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe fähig sind.

Im Gegensatz zu jungen Probanden wird die parallele perzeptive Verarbeitung bei älteren Personen jedoch durch Cross-Modale Interferenz gestört, wenn in Aufgabe 2 ein stark intensiver Reiz mit abruptem Onset nach dem Ton dargeboten wird.

Die höhere Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Cross-Modaler Interferenz bei älteren Personen im Vergleich zu jungen Personen wurde mit einem altersbedingten Inhibitionsdefizit erklärt. Wenn ältere Personen schlechter als junge Personen zur Unterdrückung des stark intensiven Reizes in der Lage sind, sollte dieser mit der Verarbeitung des Tones interferieren und Cross-Modale Interferenz entstehen.

Die Annahme eines altersbedingten Defizites bei der Unterdrückung visuell salienter Reize wird im nächsten Abschnitt anhand paralleler Evidenz diskutiert.

---

<sup>6</sup> Ausgehend von den Befunden, daß eine Kategorisierung der Reize bei jungen Personen zur Entstehung von perzeptiver Interferenz führt (DeJong, 1993) und unter Berücksichtigung altersbedingter Strategieunterschiede, könnte weiterhin angenommen werden, daß ältere Personen im Gegensatz zu jungen Personen eine Kategorisierung der visuellen Reize vornehmen. Dies könnte ebenfalls das Auftreten perzeptiver Interferenz in der älteren Gruppe erklären. Allerdings sollte eine Kategorisierung sowohl bei starker als auch bei schwacher Intensität des visuellen Reizes stattfinden. Somit kann der Reaktionszeitanstieg bei starker Intensität und kurzem SOA nicht erklärt werden, der darauf hinweist, daß perzeptive Interferenz spezifisch unter der perzeptiv einfachen Bedingung auftritt.

### 2.5.2 Die Natur von Cross-Modaler Interferenz in der Doppelaufgabe

Im Folgenden werden Studien referiert, in denen Alterseffekte bei der Inhibition visuell salienter Reize mit abruptem Onset untersucht wurden.

Eine Klasse von Studien wendete das Paradigma der Prepulse Inhibition an. In anderen Studien wurden Altersunterschiede bei der Unterdrückung visuell salienter Reize mit ereigniskorrelierten Potentialen, Sakkaden und visueller Suche untersucht. In den Befunden dieser Studien zeigte sich, daß altersbedingte Inhibitionsdefizite nur unter bestimmten Bedingungen auftreten.

**Prepulse Inhibition** Ein Paradigma, in dem inhibitorische Defizite bei älteren Personen gezeigt wurden, ist das Paradigma der Prepulse Inhibition. In diesem Paradigma wird der Augenblinkreflex (startle eyeblink) erfaßt, den eine intensive Stimulation hervorruft. Die Amplitude des Augenblinkreflexes kann durch einen 'Prepulse' inhibiert werden, wenn dieser vor dem Onset des stark intensiven Reizes erscheint, welcher in weniger als 500 ms den Augenblinkreflex auslöst. Im Gegensatz zu jungen Personen (Hackley, Woldorff & Hillyard, 1987) war bei älteren Personen keine Hemmung des Augenblinkreflexes nachweisbar, wenn die Aufmerksamkeit auf den Prepulse gerichtet war (McDowd, Oseas- Kreger & Fillion, 1995). In der aktuellen Doppelaufgabe könnte der Ton die Rolle eines Prepulses übernommen haben. Der auditive Reiz sollte in der jungen Gruppe die kurzzeitige Unterdrückung des stark intensiven visuellen Reizes in der Doppelaufgabe unterstützen (Hackley et al., 1987). Bei älteren Personen sollte der Ton dagegen kaum dazu beitragen, den Einfluß des stark intensiven Reizes abzuschwächen (McDowd et al., 1995). Somit könnte bei älteren Probanden die Verarbeitung des ersten Reizes in der Doppelaufgabensituation stärker

dem interferierenden Einfluß des kurzzeitig irrelevanten zweiten Reizes ausgesetzt sein, was zum Entstehen einer Cross-Modalen Interferenz führen könnte.

**Wann treten altersbedingte Inhibitionsdefizite auf?** Altersbedingte Defizite bei der Inhibition visuell salienter Reize konnten in einer Reihe von Studien bestätigt werden, in anderen Untersuchungen dagegen nicht. Diese widersprüchlichen Befunde machen deutlich, daß die Bedingungen spezifiziert werden müssen, unter denen ein inhibitorisches Defizit bei älteren Personen angenommen werden kann.

Altersbedingte Defizite bei der Unterdrückung salienter Reize mit abruptem Onset wurden in Untersuchungen mit ereigniskorrelierten Potentialen und Augenbewegungen (Sakkaden) nachgewiesen. Bei der Darbietung irrelevanter Reize mit abruptem Onset zeigten ältere Personen höhere Amplituden ereigniskorrelierter Potentiale (N1; P1) als junge Personen (Kramer, Hofman, Elton & Kerkhof, 1996). In Übereinstimmung mit diesem Ergebnis führten ältere Personen mehr Sakkaden in Richtung eines irrelevanten salienten Reizes mit abruptem Onset aus, als junge Personen (Olincy, Ross, Young & Freedman, 1997).

Im Gegensatz dazu konnte in der Studie von Kramer, Hahn, Irwin & Theeuwes (1999) unter vergleichbaren Reizbedingungen kein altersbedingtes Inhibitionsdefizit nachgewiesen werden. In dieser Untersuchung traten keine Unterschiede zwischen älteren Personen und jungen Personen auf, wenn in einer visuellen Suchaufgabe die Verarbeitung relevanter Reize durch abrupte Onsets eines irrelevanten Reizes gestört wurde. Dies würde darauf hindeuten, daß ältere Personen wie junge Personen zur Inhibition irrelevanter Reize mit abruptem Onset fähig sind.

Beim Vergleich der Studien mit diesen gegensätzlichen Befunden zeigte sich, daß Alterseffekte bei der Inhibition visuell salienter Reize nur dann auftraten, wenn die Probanden informiert wurden, daß zwei Reize erscheinen würden, wovon einer

irrelevant sei. In Untersuchungen, in denen der irrelevante Reiz dagegen extrem kurz erschien, und außerdem in der Instruktion nicht erwähnt wurde, waren keine Unterschiede zwischen jungen und älteren Probanden nachweisbar. Dies deutet darauf hin, daß ältere Personen nur dann Probleme aufweisen, wenn der saliente Reiz als Störreiz bewußt wahrgenommen wird, und somit aktiv kontrolliert werden muß. Andernfalls erfolgt die Verarbeitung visuell salienter Reize bei älteren Probanden wie bei jungen Personen. Es wurde gefolgert, daß ältere Personen nur dann Defizite bei der Unterdrückung salienter Reize mit abruptem Onset aufweisen, wenn aktive Kontrollmechanismen gefordert sind (z.B. Kramer et al., 1999).

Im aktuellen Doppelaufgabenexperiment wird der stark intensive Reiz bei Onset vermutlich bewußt wahrgenommen, und muß daher aktiv kontrolliert werden, um nicht mit der Verarbeitung des Tones zu interferieren. Es kann die Annahme aufgestellt werden, daß der erhöhten perzeptiven Interferenz bei älteren Personen eine Einschränkung aktiver Kontrollmechanismen zugrunde liegt.

Aus den referierten Befunden können zwei Annahmen zur Entstehung von Cross-Modaler Interferenz bei älteren Personen abgeleitet werden:

1. Der Entstehung von Cross-Modaler Interferenz könnte eine Einschränkung desselben inhibitorischen Mechanismus zugrunde liegen, der im Paradigma der Prepulse Inhibition untersucht wird.
2. Cross-Modale Interferenz sollte bei älteren Personen nur dann auftreten, wenn der zweite Reiz aktiv kontrolliert werden muß.

**Inhibition oder Exzitation?** Die angeführte parallele Evidenz unterstützt die Annahme, daß der Entstehung von Cross-Modaler Interferenz bei älteren Personen ein altersbedingtes Inhibitionsdefizit zugrunde liegen könnte. Erweiternd könnte angenommen werden, daß die parallele perzeptive Verarbeitung bei älteren Personen ein höheres Ausmaß an Inhibition erfordert, da die „Durchlässigkeit“ der sensorischen Verarbeitungskanäle mit dem Alter zunimmt. Eine stärkere „Durchlässigkeit“ der sensorischen Verarbeitungskanäle könnte die Wahrscheinlichkeit von „cross-modality matches“ (Stevens 1969) bei älteren Personen im Vergleich zu jungen Personen erhöhen. Die Folge wäre, daß ältere Personen ein stärkeres Ausmaß an Inhibition aufbringen müßten als junge Personen, um die Verarbeitungskanäle dennoch unabhängig voneinander zu verarbeiten.

Alternativ wäre jedoch auch vorstellbar, daß die Störung der parallelen perzeptiven Verarbeitung bei älteren Personen auf einer Einschränkung der Fähigkeit zur Exzitation des auditiven Kanals basiert. Eine unzureichende Exzitation des auditiven Kanals könnte die Voraussetzung sein, daß die Verarbeitung des auditiven Reizes durch den stark intensiven visuellen Reiz gestört werden kann. Die Frage, ob der Entstehung von Cross-Modaler Interferenz ein inhibitorisches oder exzitatorisches Defizit zugrunde liegt, kann auf der Grundlage der vorhandenen Daten nicht klar beantwortet werden.

Im nächsten Abschnitt werden Ansätze überprüft und diskutiert, die alternativ zur CMI-Annahme aufgestellt werden können.

### 2.5.3 Alternative Ansätze

Im Folgenden werden Blendungsphänomen und Horse-Race als zwei Ansätze diskutiert, welche die Befunde der älteren Probanden bzw. die beobachteten Unterschiede zwischen junger und älterer Gruppe ebenfalls erklären könnten. Zur Untersuchung des Blendungsphänomens wurde ein zusätzliches Experiment (Experiment 1(c)) durchgeführt. Dieses Experiment ist ausführlich im Anhang (A<sub>2</sub>, Seiten 168-173) dargestellt. An dieser Stelle werden lediglich die wichtigsten Befunde von Experiment 1(c) dargestellt.

**Blendungsphänomen** Bei älteren Personen wurde perzeptive Interferenz nur bei starker Intensität des visuellen Reizes beobachtet. Es könnte angenommen werden, daß ältere Personen stärker als junge gesunde Personen durch den stark intensiven visuellen Reiz geblendet werden, da bekannt ist, daß ältere Personen sensibler auf Reize mit hoher Blendkraft reagieren, als junge Personen (Haegerstrom-Portnoy, Scheck & Brabyn, 1999; Rubin et al., 1997).

Die Annahme eines Blendungsphänomens zur Erklärung der Effekte bei gesunden älteren Personen wurde in einem weiteren Experiment überprüft.

*Experiment 1(c) zur Überprüfung der Annahme eines Blendungsphänomens* In Experiment 1(c) wurden gesunde ältere Probanden untersucht, die das gleiche Durchschnittsalter aufwiesen wie die älteren Versuchsgruppen in den Experimenten 1(a) und 1(b). Um die Blendwirkung der visuellen Reize in der perzeptiv einfachen Bedingung von Aufgabe 2 zu minimieren, wurden schwarze Buchstaben auf einem roten Viereck dargeboten. In der schwierigen Bedingung von Aufgabe 2 wiesen die Buchstaben einen stärker gesättigten Rotton als das rote Viereck auf. Interessanter-

weise konnte für die älteren Probanden in Experiment 1(c) ein signifikanter Reaktionszeitanstieg in Rz1 und Rz2 bei kurzem SOA und unter der perzeptiv einfachen Bedingung von Aufgabe 2 nachgewiesen werden, der die Ergebnisse der älteren Personen in Experiment 1(a) replizierte.

Die Ergebnisse von Experiment 1(c) weisen darauf hin, daß der verschlechterten Performanz von gesunden älteren Personen kein peripheres Phänomen wie Blendung zugrunde liegt. Darüber hinaus wäre es auch schwierig, den Anstieg in den mittleren Rz1 über die Annahme eines Blendungsphänomens zu erklären.

Wie die Resultate von Experiment 1(a) können die Befunde aus Experiment 1(c) im Rahmen der CMI-Annahme interpretiert werden. Auch der schwarze visuelle Reiz auf rotem Hintergrund weist eine hohe visuelle Salienz, d.h. einen großen lokalen Kontrast in einer grundlegenden Merkmalsdimension (Yantis & Egeth, 1999) auf. Die älteren Personen in Experiment 1(c) sind offensichtlich nicht in der Lage, diesen salienten Reiz kurzzeitig zu unterdrücken. Es kommt zur Interferenz mit der Verarbeitung des Tones.

**Horse-Race** Als zweiter alternativer Erklärungsansatz für den Anstieg von Rz1 und Rz2 bei älteren Personen kann ein „Horse-Race“ zwischen visueller und auditiver Verarbeitung angenommen werden.

Bei älteren Personen könnte angenommen werden, daß der stark intensive visuelle Reiz schneller als der auditive Reiz verarbeitet wird, da die auditive Verarbeitung mit zunehmendem Alter beeinträchtigt wird (Haber, 1994; Willott, 1991). Wenn der stark intensive visuelle Reiz schneller verarbeitet wird, besetzen Verarbeitungsprozesse des visuellen Reizes den Flaschenhals, der sich bei kurzem SOA bildet. Die Verarbeitung des auditiven Reize kann erst erfolgen, wenn der Flaschenhals wieder freigegeben ist. Da im aktuellen Doppelaufgabendesign die auditive Aufgabe vor der visuellen Aufgabe beantwortet werden muß, führt eine Verzögerung der

auditiven Verarbeitung auch zu einer Verzögerung von Rz2. Somit könnte auch die Horse-Race Annahme den Anstieg von Rz1 und Rz2 bei kurzem SOA und starker Intensität des visuellen Reizes in der älteren Gruppe erklären.

In der jungen Gruppe könnte dagegen vermutet werden, daß der auditive Reiz schneller verarbeitet wird als der visuelle Reiz. Diese Annahme wird durch Befunde unterstützt, die zeigen, daß das Aktivierungsniveau durch intensive auditive Stimulation gehoben wird (z.B. Niemi & Näätänen, 1981; Posner, Nissen & Klein, 1976). Da der auditive Reiz zuerst zu beantworten ist, sollte es bei jungen Personen im Gegensatz zu älteren Personen weder in Rz1 noch in Rz2 zur Verzögerung kommen. Die Unterschiede zwischen junger und älterer Gruppe wären über altersbedingte Unterschiede in der Verarbeitungsgeschwindigkeit der verschiedenen Verarbeitungskanäle zu erklären, ohne daß eine altersbedingte Erhöhung perzeptiver Interferenz angenommen werden müßte.

Die Horse-Race Annahme wurde durch den Vergleich der visuellen und auditiven Einzelreaktionszeiten der jungen und älteren Personen in Experiment 1(a) überprüft, da so die Verarbeitungsgeschwindigkeit der visuellen und auditiven Modalität abgeschätzt werden kann. Die Frage war, ob bei älteren Personen die auditiven Einzelreaktionszeiten gegenüber den Einzelreaktionszeiten für die stark intensiven Reize erhöht sind. Dies war nicht der Fall. Die älteren Probanden reagierten wie junge Personen schneller auf auditive Reize ( $M = 519$  ms) als auf stark intensive visuelle Reize ( $M = 571$  ms). Ausgehend von diesen Ergebnissen ist es unwahrscheinlich, daß in der älteren Gruppe der stark intensive visuelle Reiz das „Horse-Race“ gegen den auditiven Reiz gewinnt. Zu bedenken ist weiterhin, daß in der Doppelaufgabensituation durch das SOA ein weiterer Verarbeitungsvorteil für den auditiven Reiz geschaffen wird. Folglich müßte das SOA eigentlich zu den Einzel-

reaktionszeiten der stark intensiven visuellen Reize addiert werden. All dies spricht das gegen eine Horse-Race Interpretation der Befunde.

Weder die Horse-Race Annahme noch die Annahme eines Blendungsphänomens können die Unterschiede zwischen gesunden jungen Personen und neurologisch gesunden älteren Personen erklären. Nach Betrachtung dieser alternativen Ansätze stellt die CMI-Annahme den besten Erklärungsansatz für die beobachteten Resultate dar.

Zum Abschluß des Kognitionspsychologischen Teiles wird auf die Frage des Gültigkeitsbereiches der CMI-Annahme eingegangen. Nach bisherigen Befunden stellt sich die Störung paralleler perzeptiver Verarbeitung durch Cross-Modale Interferenz als ein altersbedingtes Phänomen dar. In einem weiteren Experiment wurde untersucht, ob Cross-Modale Interferenz ein altersbedingtes Phänomen ist oder unter Extrembedingungen auch bei jungen gesunden Personen auftreten kann.

**Cross-Modale Interferenz auch bei jungen Personen?** In den aktuellen Untersuchungen wurde Cross-Modale Interferenz nur bei älteren Personen beobachtet. Um zu untersuchen, ob die Kontrolle der parallelen perzeptiven Verarbeitung unter Extrembedingungen auch bei jungen gesunden Personen durch Cross-Modale Interferenz gestört werden kann, wurde ein weiteres Experiment (Experiment 1(d); Anhang A<sub>3</sub>; Seiten 173-177) durchgeführt.

*Experiment 1(d)* Im Unterschied zu den Experimenten, die in den Kapiteln 2 – 4 dargestellt sind, wurden junge gesunde Personen in Experiment 1(d) mit extrem stark intensiven visuellen Reizen (107 cd/m<sup>2</sup> anstelle von 47 cd/m<sup>2</sup>) konfrontiert. Schwach intensive Reize wurden konstant mit einer sehr geringen (0.04 cd/m<sup>2</sup>) Leuchtintensität

dargeboten. Alle anderen experimentellen Variablen waren identisch mit den oben dargestellten Experimenten.

Die Ergebnisse zeigten, daß junge gesunde Personen auch bei extrem starker Intensität des visuellen Reizes zur parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgaben fähig sind. Dennoch ist nicht auszuschließen, daß unter noch extremeren Reizbedingungen auch bei jungen Personen die parallele perzeptive Verarbeitung durch Cross-Modale Interferenz gestört werden könnte. Ein Hinweis darauf war ein leichter Reaktionszeitanstieg, der in Experiment 1(d) in beiden Reaktionen bei kurzem SOA und starker Intensität des visuellen Reizes auftrat.

Die Ergebnisse von Experiment 1(d) weisen darauf hin, daß auch bei jungen gesunden Personen der Einfluß eines attraktiven kurzzeitig irrelevanten Reizes kontrolliert werden muß, um eine parallele perzeptive Verarbeitung in der Doppelaufgaben zu gewährleisten. Dies zeigt, daß die Gültigkeit der CMI-Annahme nicht auf die Doppelaufgabenperformanz älterer Personen beschränkt ist. Im Gegensatz zu älteren Personen sind junge Personen jedoch in einem breiteren Rahmen von Bedingungen dazu in der Lage, die Kontrolle zur Aufrechterhaltung der parallelen perzeptiven Verarbeitung aufzubringen.

**Fazit des Kognitionspsychologischen Teiles** Nach Zusammenschau der Befunde des Kognitionspsychologischen Teiles kann festgestellt werden, daß Alter die parallele perzeptive Verarbeitung in der Doppelaufgabe beeinflusst. Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Defizites an der perzeptiven Verarbeitungsstufe der Doppelaufgabe ist bei älteren Personen im Vergleich zu jungen Personen erhöht.

In Anbetracht der weiterführenden Zielstellung der Arbeit konnte es nicht Anliegen des Kognitionspsychologischen Teiles sein, mögliche Ursachen der perzeptiven Interferenz bei älteren Personen erschöpfend zu diskutieren. Als ein plausibles Erklärungsmodell für die beobachteten Einschränkungen der parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe wurde die CMI-Annahme entwickelt, auf deren Grundlage Annahmen über die Entstehung perzeptiver Interferenz bei klinischen Stichproben abgeleitet werden können.

Im jetzt folgenden Klinischen Teil wird der etablierte Untersuchungsansatz angewendet, um die perzeptive Verarbeitung in der Doppelaufgabensituation bei SHT-Patienten und Parkinsonpatienten zu untersuchen.



## **Teil 2**

### **Klinischer Teil**

Im Klinischen Teil der Arbeit soll untersucht werden, ob SHT-Patienten mit frontal akzentuierten Gewebläsionen zur parallelen perceptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe fähig sind. Bisher ist lediglich bekannt, daß ein Großteil der SHT-Patienten Einschränkungen exekutiver Funktionen aufweisen. Diese Einschränkungen zeigen sich bei der Koordination von Handlungssequenzen (Bublak, Schubert, Matthes-von Cramon & von Cramon, 2000), bei der Planung von Handlungsschritten (z.B. Levin et al., 1994), beim Wechseln von Aufgaben (Mecklinger, von Cramon, Springer & Matthes-von Cramon, 1999) und nicht zuletzt auch bei der Unterdrückung irrelevanter Reize (z.B. Whyte, Schuster, Polansky, Adams & Coslett, 2000). Probleme bei der Unterdrückung irrelevanter Reize könnten in der Doppelaufgabe dazu führen, daß die Verarbeitung des zweiten Reizes die Verarbeitung des ersten Reizes stört. Wenn dies bei SHT-Patienten der Fall ist, könnte die parallele perceptiv Verarbeitung in der Doppelaufgabe durch Cross-Modale Interferenz beeinträchtigt sein. Dies würde bedeuten, daß die parallele perceptiv Verarbeitung in der Doppelaufgabe bei SHT-Patienten in ähnlicher Weise gestört wäre, wie bei den älteren Probanden in Experiment 1(a). Um zu untersuchen, ob eine traumatische Hirnschädigung unabhängig von der Variable Alter die parallele perceptiv Verarbeitung in der Doppelaufgabe beeinflusst, wurden nur junge SHT-Patienten in die Stichprobe eingeschlossen. Neben SHT-Patienten wurde eine klinische Kontrollgruppe von Parkinsonpatienten untersucht. Da Parkinsonpatienten unter einer Einschränkung der Basalganglienfunktion leiden, können auf diesem Wege Aussagen über den Einfluß einer Funktionsstörung subkortikaler Strukturen auf die parallele perceptiv Verarbeitung in der Doppelaufgabe getroffen werden. Parkinsonpatienten und deren altersparallelisierte Kontrollpersonen weisen einen fortgeschrittenen Altersdurchschnitt auf. Daher kann die Untersuchung von Parkinsonpatienten und Kontrollpersonen zusätzlich dazu dienen, die Ergebnisse der neurologisch gesunden älteren Personen aus den Experimenten 1(a) und 1(b) abzusichern. Aus didaktischen Gründen wird zuerst die zentrale Untersuchung des Klinischen Teiles zur parallelen perceptiven Verarbeitung bei SHT-Patienten vorgestellt.

*SHT-PATIENTEN*

## **Kapitel 3**

### **Doppelaufgabendefizite bei Patienten nach traumatischer Hirnschädigung**

### 3.1 Stand der Forschung

Auf Doppelaufgabendefizite bei Patienten nach traumatischer Hirnschädigung wurde bereits in der Einleitung eingegangen. Im Folgenden soll die Gruppe der SHT-Patienten und deren Einschränkungen in der Doppelaufgabenperformanz ausführlicher vorgestellt werden.

**Neuropathologische Veränderungen nach traumatischer Hirnschädigung** Schädel-Hirn-Traumata (SHT) werden durch stumpfes Aufprallen des Kopfes- bzw. stumpfe Schläge auf den Kopf verursacht, und treten meist in Folge von Verkehrsunfällen, Sportunfällen, Stürzen u.ä., aber auch nach Gewaltanwendung auf. Somit gehören traumatische Hirnschädigungen zu den am häufigsten auftretenden Hirnverletzungen. Generell wird zwischen offenem und gedecktem SHT unterschieden. Bei einem offenen SHT kommt es in Folge des stumpfen Aufpralls zu einer Durchdringung der Membran unter dem Schädelknochen (Dura Mater). Im Gegensatz dazu wird bei gedecktem SHT der Schädelknochen nicht perforiert. Die Mechanismen der Hirnverletzung bei offenem und gedecktem SHT unterscheiden sich wenig. Die Auswirkungen von offenen SHTs sind jedoch durch die zusätzliche Infektionsgefahr meist dramatischer als die Folgen einer gedeckten traumatischen Hirnschädigung. Daher nahmen an den Experimenten, die in Kapitel 3 dargestellt werden, nur Patienten nach gedecktem SHT teil.

Eine Folge von traumatischen Hirnschädigungen sind fokale Kontusionsverletzungen, die häufig beidseits frontal oder fronto-temporal auftreten (z.B. Levin & Kraus, 1994, Wrightson & Gronwall, 1999, Richardson, 2000). Zusätzlich zu fokalen Kontusionen liegen meist Gewebsschäden vom Typ der *diffusen axonalen Schädigung*

#### *SHT-PATIENTEN*

(DAS) vor. Sie entstehen durch traumatische Scherverletzungen, wobei Axone (insbesondere U-Fasern) gedehnt oder durchtrennt werden. Dadurch ist die Kontinuität der Weiterleitung spezifischer Afferenzen und Efferenzen gestört. Die Aktivierung des Cortex kann nicht mehr entsprechend "skaliert" werden. Weitere Gewebsschäden nach traumatischen Hirnschädigungen treten in Form von Ödemnekrosen (nach generalisiertem Hirnödem) oder des zerebralen Sauerstoffmangels (hypoxische Hypoxie) auf. Die Reduktion von Axonen nach DAS zieht eine Reihe sekundärer hirnpathologischer Veränderungen nach sich. Dazu gehören eine deutliche Abnahme des Stirnhirnvolumens sowie Ventrikelerweiterungen durch entstehende Vakuurräume. Durch die Unterbrechung von Axonen werden außerdem die reichen Faserverbindungen des frontalen Cortex zu anderen kortikalen und subkortikalen Arealen stark eingeschränkt. Zusammen mit den fokalen Kontusionen, die zusätzlich im frontalen Cortex auftreten können, ist davon auszugehen, daß der frontale Cortex und seine Faserverbindungen bei traumatischen Hirnverletzungen maximal beschädigt werden. In aktuellen Ansätzen wird angenommen, daß dieses vom frontalen Cortex ausgehende neuronale Netzwerk die physiologische Grundlage für exekutive Funktionen bildet (Matthes-von Cramon & von Cramon, 2000). Da fokale und diffuse Gewebsläsionen nach SHT zur Zerreißung des „exekutiven“ Netzwerkes führen, ist es nicht erstaunlich, daß bei der Mehrheit der SHT-Patienten eine Störung der Exekutivfunktionen beobachtet wird. Diese exekutiven Dysfunktionen sollten sich negativ auf die Ausführung von Doppelaufgaben auswirken, was in vielen Studien bestätigt wurde (z.B. Cicerone, 1996; Zoccolotti et al., 2000; siehe auch Einleitung).

**Generelle Verlangsamung** Bei der Interpretation von Befunden zu Doppelaufgabendefiziten bei SHT-Patienten und gesunden älteren Personen werden Parallelen deutlich. Die Annahme, daß die Ausführung von Doppelaufgaben bei SHT-Patienten generell verschlechtert ist (z.B. Cicerone, 1996) wurde von anderen Autoren mit dem Hinweis relativiert, daß Patienten nach traumatischer Hirnschädigung eine allgemeine kognitive Verlangsamung aufweisen (Ferraro, 1996). Die Verlangsamung sämtlicher kognitiver Prozesse würde schon in den Einzelaufgaben eine Verschlechterung gegenüber den gesunden Kontrollpersonen bewirken, welche sich unter Doppelaufgabenbedingungen lediglich potenziert. Die Resultate einiger Studien unterstützten diese Annahme, indem gezeigt wurde, daß Unterschiede zwischen SHT-Patienten und gesunden Kontrollpersonen abnahmen, wenn die Leistung in den Einzelaufgaben angeglichen wurde (Brouwer, Ponds, Van Wolffelaar & Van Zomeren, 1989; Spikman, van Zomeren & Deelman, 1996; Spikman, Deelman & van Zomeren, 2000).

Die Ergebnisse anderer Studien stellen jedoch die Annahme in Frage, daß Doppelaufgabendefizite von SHT-Patienten lediglich methodische Artefakte verschlechterter Ausgangswerte sind. Selbst wenn die Performanz von SHT-Patienten und gesunden Personen in den Einzelaufgaben angepaßt wurde, traten Doppelaufgabendefizite auf (Leclercq et al., 2000; McDowell et al., 1997; Park et al., 1999).

### **Erhöhte Interferenz im Doppelaufgabenverarbeitungsprozeß bei SHT-Patienten**

In bisherigen Erklärungsansätzen wurden Doppelaufgabendefizite bei SHT-Patienten mit der unspezifischen Annahme einer Einschränkung von Exekutivfunktionen erklärt (siehe 2.). In Erweiterung dieses Ansatzes wird in der vorliegenden Arbeit davon ausgegangen, daß erhöhte Interferenz zwischen Prozessen der Doppelaufgabenverarbeitung zur Entstehung von Doppelaufgabendefiziten bei SHT-Patienten beitragen könnte.

## *SHT-PATIENTEN*

Prinzipiell könnte erhöhte spezifische Interferenz bei SHT-Patienten an allen Verarbeitungsstufen der Doppelaufgabe auftreten. Darauf weisen die Ergebnisse einer Studie von Shum, Farland, Bain und Humphreys (1990) hin, in der systematisch die Schwierigkeit der Verarbeitungsstufen einer visuell-räumlichen Wahlaufgabe manipuliert wurde. In Abhängigkeit des Schweregrades der Hirnschädigung zeigten SHT-Patienten Einschränkungen bei der perceptiven Verarbeitung der Reize, bei der Antwortauswahl (siehe auch Dell'Acqua, Stablum, Galbiati, Spannocchi & Cerri, 2000) und bei der Ausführung der motorischen Reaktion.

Probleme bei der perceptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabensituation könnten zur Erhöhung von perceptiver Interferenz bei SHT-Patienten führen. Dies würde bedeuten, daß die parallele perceptiv Verarbeitung bei SHT-Patienten im Vergleich zu jungen gesunden Personen eingeschränkt wäre. Die Entstehung von erhöhter Interferenz an der perceptiven Verarbeitungsstufe der Doppelaufgabe kann klassischerweise über Ressourcen-Interferenz oder Flaschenhals-Interferenz erklärt werden. Nach den Ergebnissen der gesunden älteren Probanden muß darüber hinaus auch das Auftreten von Cross-Modaler Interferenz in Betracht gezogen werden.

*Ressourcen-Interferenz* In einigen Studien wird die verschlechterte Performanz von SHT-Patienten gegenüber gesunden Personen mit einer Ressourcenreduktion nach traumatischer Hirnschädigung erklärt. Ein Beispiel ist die Studie von Schmitter-Edgecombe, Marks, Fahey und Long (1992). In dieser Studie wurde die Reiz-Reaktions-Kompatibilität, und somit die Schwierigkeit der Antwortauswahl, sowie die Schwierigkeit der perceptiven Verarbeitung eines visuellen Reizes variiert. Die Performanz der SHT-Patienten war im Vergleich zur Kontrollgruppe eingeschränkt, wenn eine inkompatible Antwort abzugeben war und eine Erhöhung der perceptiven Schwierigkeit vorlag. Dagegen traten in einer Gedächtnisanforderung keine Unter-

## *SHT-PATIENTEN*

schiede zwischen SHT-Patienten und gesunden Personen auf. Schmitter-Edgecombe et al. gehen davon aus, daß Antwortauswahl und perzeptive Verarbeitung einen größeren Anteil der reduzierten Ressource erfordern als die Gedächtnisanforderung. Daher sollte bei SHT-Patienten in der inkompatiblen Antwortbedingung und bei erhöhter perzeptiver Schwierigkeit Ressourcen-Interferenz auftreten, welche zur Verschlechterung der Performanz gegenüber der Kontrollgruppe führt.

Im aktuellen Doppelaufgabenexperiment wäre Ressourcen-Interferenz bei SHT-Patienten unter der perzeptiv schwierigen Bedingung, d.h. bei schwacher Intensität des visuellen Reizes, und bei kurzem SOA zu erwarten (siehe 2.1).

*Flaschenhals-Interferenz* Alternativ zur Ressourcen-Interferenz könnte angenommen werden, daß die parallele Verarbeitung von SHT-Patienten durch Flaschenhals-Interferenz gestört ist. Befunde weisen darauf hin, daß SHT-Patienten schlechter zum Erkennen kontrastarmer Reize in der Lage sind als altersparallelisierte gesunde Personen (Archeson & Sanders, 1995; Hess, Zihl, Pointer & Schmidt, 1990). In der Doppelaufgabensituation könnte dies bedeuten, daß der schwierige Verarbeitungsanteil der schwach intensiven visuellen Reize einem Flaschenhals unterliegt und so nicht parallel mit der perzeptiven Verarbeitung des ersten Reizes verarbeitet werden kann (siehe 2.1).

*Cross-Modale Interferenz* Nach der CMI-Annahme (Abschnitt 2.3) sollte eine eingeschränkte Fähigkeit zur Unterdrückung irrelevanter Reize die Entstehung Cross-Modaler Interferenz begünstigen. Eine Reihe von Befunden weisen darauf hin, daß SHT-Patienten schlechter als gesunde Personen zur Unterdrückung irrelevanter Reize in der Lage sind. Beispielsweise wurde unter Anwendung ereigniskorrelierter Potentiale gezeigt, daß SHT-Patienten im Gegensatz zu gesunden Kontrollpersonen erhöhte

#### *SHT-PATIENTEN*

Potentiale (P3a Amplitude) auf irrelevante Töne aufweisen, obwohl ausschließlich auf visuelle Reize reagiert werden mußte (Kaipio et al., 1999; 2000). In einer anderen Studie wurden relevante Töne und irrelevante Töne dargeboten, und die ereigniskorrelierten Potentiale auf relevante Reize von den ereigniskorrelierten Potentialen auf irrelevante Reize subtrahiert (Solbakk, Reinvang, Nielsen & Sundet, 1999). Bei erfolgreicher Unterdrückung der irrelevanten Töne sollte die ermittelte Differenz stark negativ sein, da wesentlich schwächere ereigniskorrelierte Potentiale auf irrelevante Reize als auf relevante Reize zu erwarten wären. Bei SHT-Patienten war diese Differenz signifikant geringer als in der Kontrollgruppe. Die Autoren folgerten, daß SHT-Patienten schlechter als die Kontrollpersonen zur Unterdrückung irrelevanter Reize in der Lage sind. In Übereinstimmung mit diesen Befunden konnte für SHT-Patienten keine Habituation an irrelevante Reize nachgewiesen werden, während gesunde Personen unter den gleichen Bedingungen schnell an Störreize habituierten (Whyte et al., 2000).

Ein Inhibitionsdefizit bei SHT-Patienten könnte mit fokalen und diffusen Gewebläsionen im frontalen Cortex und mit der Unterbrechung der Faserverbindungen des Stirnhirns in Verbindung stehen. Wenn eine Schädigung des frontalen Cortex nach gedecktem SHT die Fähigkeit zur Kontrolle irrelevanter Reize einschränkt, wäre zu erwarten, daß die parallele perzeptive Verarbeitung bei SHT-Patienten durch Cross-Modale Interferenz gestört ist.

Ob das der Fall ist, wird in Experiment 2(a) untersucht.

## 3.2 Experiment 2(a)

### 3.2.1 Fragestellung

In Experiment 2(a) wurde untersucht, ob junge SHT-Patienten wie junge gesunde Personen zur parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe fähig sind.

### 3.2.2 Methode

**Patientenstichprobe** Die Patientenstichprobe umfaßte 14 Patienten (davon drei Frauen). Alle Patienten litten an frontal akzentuierten (diffusen oder fokalen) Gewebsläsionen in Folge eines gedeckten SHT (Tabelle 8) und waren aktuelle oder ehemalige Patienten der Tagesklinik für kognitive Neurologie der Universität Leipzig. Die aktuellen Patienten der Klinik nahmen unentgeltlich an der Untersuchung teil, die ehemaligen Patienten erhielten eine Aufwandsentschädigung. Die Datensätze von zwei Patienten wurden aufgrund zu hoher Fehlerraten (über 50%) ausgeschlossen. Bei zwei weiteren Patienten mußte das Experiment aufgrund mangelnder Belastbarkeit abgebrochen werden. Zwei Patienten klagten über Doppelbilder während der Untersuchung. Die klinischen Daten der verbleibenden acht Patienten sind in Tabelle 8 dargestellt. Zum Zeitpunkt des Experimentes lag bei allen Patienten das hirnschädigende Ereignis mindestens 10 Monate zurück.

### 3.2. EXPERIMENT 2(A)

**Voruntersuchung** Die individuellen Ergebnisse der neuropsychologischen Voruntersuchung sind in Tabelle 8 dargestellt. Anhand des Behavioural Assessment of the Dysexecutive Syndrom (BADS; Wilson, Aldermann, Burgess, Emslie & Evans, 1996) wurde das Vorliegen einer exekutiven Dysfunktion überprüft. Die BADS-Testbatterie enthält sechs Aufgaben, die exekutive Alltagsanforderungen simulieren sollen (z.B. Zeitschätzung, Entkorken einer Flasche unter Berücksichtigung bestimmter Regeln). Zusätzlich liegen zwei Fragebögen für Selbst- und Fremdeinschätzung vor (Dysexecutive Questionnaire, DEX). Da die BADS noch nicht in einer offiziellen deutschsprachigen Version vorliegt, wurde eine hausinterne Übersetzung der Tagesklinik für kognitive Neurologie angewandt. Bei fünf der acht Patienten wurde eine exekutive Dysfunktion diagnostiziert. Das Bestehen einer Depression wurde aus Gründen der Vergleichbarkeit mit der Parkinsongruppe (Kapitel 4) über die Geriatric Depression Scale (GDS, Yesavage et al., 1983) abgeprüft. Der Grenzwert für das Bestehen einer klinisch relevanten Depression von 23 wurde nicht überschritten. Außerdem wurde der Farb-Wort-Interferenz-Test (Wolfram & Wiczorek, 1986), eine Patientenversion des Stroop-Test, durchgeführt. Zwei Patienten wiesen unterdurchschnittliche Werte auf.

**Kontrollgruppe** Die demographischen Daten der Patientengruppe und der Kontrollgruppe sind auf der linken Seite von Tabelle 7 dargestellt. Die Kontrollpersonen wurden aus der Datenbank des Max-Planck-Institutes für Neuropsychologische Forschung Leipzig rekrutiert und waren zur Patientenstichprobe in Alter, Geschlecht und höchstem Schulabschluß parallelisiert. Keiner der Kontrollprobanden berichtete neurologische Einschränkungen. Alle Kontrollpersonen, wie auch die Patienten hatten eine normale- oder auf einen Normalwert korrigierte Seh- und Hörleistung.

### 3.2. EXPERIMENT 2(A)

**Tabelle 7.** Demographische Daten der SHT-Patienten und Kontrollpersonen aus Experiment 2(a) und Experiment 2(b). SHT = Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma; KP = Kontrollpersonen; M = Mittelwert; s = Standardabweichung; Geschlecht = weiblich/männlich; Schulbildung = höchster Schulabschluß; Kruskal-Wallis = nonparametrischer Test auf Gruppenunterschiede.

	Experiment 2a				Experiment 2b				Kruskal-	
	SHT		KP		SHT		KP		Wallis	
	M	(s)	M	(s)	M	(s)	M	(s)	C <sup>2</sup>	p
Alter	29.1	(7.8)	29	(8.0)	29.6	(9.6)	30	(8.0)	0.19	0.98
Altersspanne	18-40	-	17-39	-	18-46	-	20-44	-	-	-
Geschlecht	2/6	-	2/6	-	3/7	-	3/7	-	-	-
Schulbildung	10.5	(1.4)	11	(1.0)	10.4	(1.4)	11	(1.0)	1.69	0.64

**Versuchsdesign** Versuchsdesign, Versuchsablauf und Datenauswertung waren identisch mit Experiment 1(a). Die stark intensiven Reize in der einfachen Bedingung von Aufgabe 2 wurden also mit der gleichen Leuchtintensität (42.7 cd/m<sup>2</sup>) präsentiert wie in Experiment 1(a). Ausgehend von den Ergebnissen von Experiment 1(a) wurden in Experiment 2(a) begründete einseitige Hypothesen getestet. Für Mittelwertvergleiche wurden daher einseitige t-Tests verwendet. Im Übrigen verlief die Datenauswertung wie in Experiment 1(a).

3.2. EXPERIMENT 2(A)

**Tabelle 8.** Individuelle demographische, neuropsychologische und klinische Daten der SHT-Patienten aus Experiment 2(a). ID=Identifikationsnummer; w=weiblich, m=männlich; Hs=Hirnschädigung; Exekutive Dysfunktion=Einstufung gemäß den Altersnormen der BADS, vorh=vorhanden; MRT=Magnet-Resonanz-Tomographie, Kont=Kontusion, front=frontal, temp= temporal, orb=orbital, L=links, R=rechts, B= beidseitig, DAS=Diffuse axonale Schädigung; FWI= Farbe-Wort-Interferenz-Test(C-Wert); GDS=Geriatric Depression Scale; M=Mittelwert; s=Standardabweichung

ID	Alter (Jahre) w/m	Bildung (Jahre)	Zeit seit Hs (Monate)	Exekutive Dysfunktion *	MRT-Befund	FWI +	GDS ++
194	23 w	12	32	vorh	Kont.: L front-temp., DAS	7	11
358	19 m	10	10	stark	Kont.: B front	2	3
474	32 w	12	19	nein	Kont.: R front-orb., DAS	4	16
482	21 m	10	14	nein	Kont.: R front-orb., DAS	7	11
188	36 m	10	30	vorh	Kont.: B front.	8	22
300	40 m	10	242	vorh	Kont.: B front.; L temp.	3	22
311	34 m	10	243	nein	DAS	7	9
342	31 m	8	12	stark	Kont.: B front.	7	11
M	29.1 (s)	10.5 (1.4)	74.1 (102.9)			5.6 (2.3)	13.4 (6.7)

Anmerkung: + C-Werte von 4 bis einschließlich 6 liegen im Durchschnittsbereich.  
++ Ab einem Wert von 23 ist von einer klinisch relevanten Depression auszugehen

### 3.2. EXPERIMENT 2(A)

#### 3.2.3 Hypothesen

Die Hypothesen für die parallele perzeptive Verarbeitung bei SHT-Patienten wurden analog zu den gesunden älteren Personen aufgestellt, jedoch durch die CMI-Annahme erweitert.

##### 1. Keine Beeinträchtigung

Wenn SHT-Patienten wie junge gesunde Personen zur parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe fähig sind, sollten folgende Reaktionszeitparameter beobachtet werden:

*Rz2: Unteradditive SOA X Intensität Interaktion (siehe Abschnitt 1.2)*

*Rz1: weder durch SOA noch durch Intensitätsmanipulation beeinflusst*

##### 2. Generelle Verlangsamung

Wenn SHT-Patienten wie junge gesunde Personen zur parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe fähig sind (siehe Hypothese 1), jedoch in beiden Reaktionen eine Verlangsamung gegenüber der Kontrollgruppe aufweisen, sollten *unabhängig von SOA und Intensitätsmanipulation* folgende Reaktionszeitparameter beobachtet werden:

*Rz2 SHT-Patienten > Rz2 junge Probanden*

*Rz1 SHT-Patienten > Rz1 junge Probanden*

### 3.2. EXPERIMENT 2(A)

#### 3. Cross-Modale Interferenz

Wenn die parallele perzeptive Verarbeitung bei SHT-Patienten durch Cross-Modale Interferenz gestört ist, sollten bei *kurzem SOA* folgende Reaktionszeitparameter beobachtet werden:

$$Rz2 \text{ starke Intensität visueller Reiz} > Rz2 \text{ schwache Intensität visueller Reiz}$$

$$Rz1 \text{ starke Intensität visueller Reiz} > Rz1 \text{ schwache Intensität visueller Reiz}$$

#### 4. Ressourcen-Interferenz

Wenn die parallele perzeptive Verarbeitung bei SHT-Patienten durch Ressourcen-Interferenz gestört ist, sollten *bei kurzem SOA* folgende Reaktionszeitparameter beobachtet werden:

$$Rz2 \text{ schwache Intensität visueller Reiz} > Rz2 \text{ starke Intensität visueller Reiz}$$

$$Rz1 \text{ schwache Intensität visueller Reiz} > Rz1 \text{ starke Intensität visueller Reiz}$$

#### 5. Flaschenhals-Interferenz

Wenn die parallele perzeptive Verarbeitung bei SHT-Patienten durch Flaschenhals-Interferenz gestört ist, sollten *unabhängig vom SOA* folgende Reaktionszeitparameter beobachtet werden:

$$Rz2 \text{ schwache Intensität visueller Reiz} > Rz2 \text{ starke Intensität visueller Reiz}$$

$$Rz1: \text{ weder durch SOA noch durch Intensitätsmanipulation beeinflusst}$$

### 3.2. EXPERIMENT 2(A)

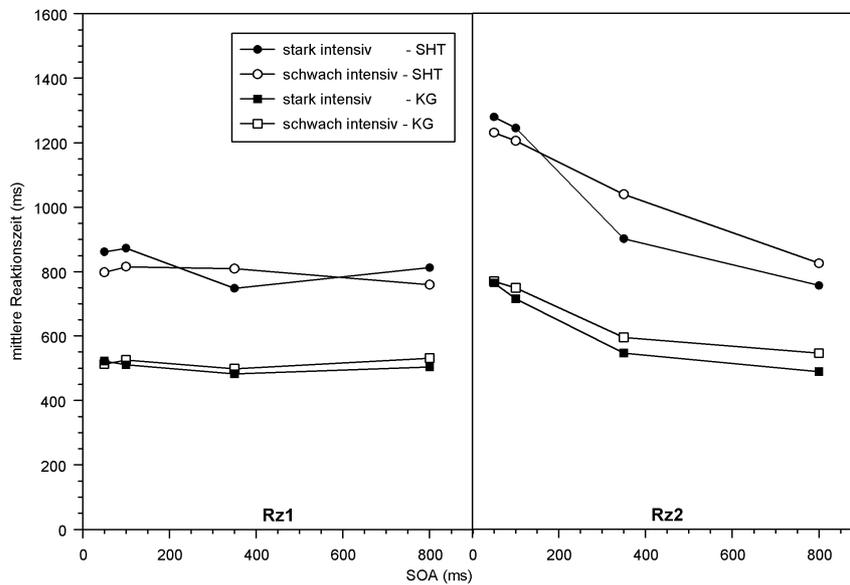
#### 3.2.4 Ergebnisse

**Reaktionszeitanalyse** Zunächst wurden die mittleren Rz der Doppelaufgabenbedingung für Aufgabe 2 und Aufgabe 1 analysiert.

*Aufgabe 2* Eine Varianzanalyse mit den Faktoren SOA und Intensität des visuellen Reizes und dem Zwischengruppenfaktor Gruppe wurde über die mittleren Rz2 von SHT-Patienten und Kontrollpersonen durchgeführt. Die Frage von Experiment 2(a) war, ob junge SHT-Patienten wie junge gesunde Personen zur parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe fähig sind.

Abbildung 8/ rechts zeigt, daß sich Patienten und Kontrollpersonen in der Performanz von Aufgabe 2 deutlich unterschieden. In der Patientengruppe zeigte sich unter kurzen SOA-Bedingungen eine mittlere Reaktionszeitdifferenz für stark intensive Reize von -48.5 ms (Tabelle 9), während die Differenz zwischen stark intensiven und schwach intensiven Reizen in der Kontrollgruppe minimal war ( $M = 5$  ms). Somit wurde die unteradditive Interaktion zwischen SOA und Intensität in der jungen Kontrollgruppe repliziert, war jedoch bei jungen SHT-Patienten nicht nachweisbar.

### 3.2. EXPERIMENT 2(A)



**Abbildung 8.** Experiment 2(a). Mittlere Rz für die erste Reaktion (Rz1; links) und die zweite Reaktion (Rz2; rechts) in Abhängigkeit von Gruppe und SOA für die stark intensive (einfach) und schwach intensive (schwierig) Bedingung von Aufgabe 2. SHT = Patienten mit einem gedeckten Schädel-Hirn-Trauma; KG = Kontrollgruppe.

Trotz dieses deutlichen Unterschiedes zwischen Patienten und Kontrollpersonen war die Dreifachinteraktion zwischen Gruppe X SOA X Intensität statistisch nicht signifikant,  $F(3,42) = 1.69$ ,  $p = 0.184$ . Das könnte in der geringen statistischen Power auf Grund der geringen Stichprobengröße begründet liegen. Außerdem wiesen die mittleren Rz2 der SHT-Patienten beträchtliche Standardabweichungen auf. Die größten mittleren Standardabweichungen traten bei SOA 50 (403 ms) bzw. SOA 100 (455 ms) und starker Intensität des visuellen Reizes auf. Die geringste mittlere Standardabweichung betrug bei SOA 800 und starker Intensität des visuellen Reizes immer noch 201 ms. Diese Ergebnisse weisen auf große Varianz innerhalb der Gruppe

### 3.2. EXPERIMENT 2(A)

der SHT-Patienten hin. Zusammen mit der geringen Stichprobengröße könnte dies begründen, warum die Varianzanalyse keine statistisch signifikante Dreifachinteraktion erbrachte, obwohl Abbildung 8 deutliche Unterschiede zwischen der Doppelaufgabenperformanz von SHT-Patienten und Kontrollpersonen zeigt.

Entsprechend der Umkehrung bzw. Minimierung der Reaktionszeitdifferenz zwischen stark intensiven Reizen und schwach intensiven Reizen bei kurzem SOA im Vergleich zu langem SOA, trat eine signifikante Wechselwirkung zwischen SOA X Intensität,  $F(3,42) = 3.67$ ,  $p = 0.019$ , und ein signifikanter Haupteffekt des Faktors Intensität,  $F(1,14) = 11.43$ ,  $p = 0.004$ , auf.

Junge SHT-Patienten und Kontrollpersonen zeigten den erwarteten PRP-Effekt. Die Varianzanalyse erbrachte folglich einen signifikanten Effekt des Faktors SOA,  $F(3,42) = 84.06$ ,  $p < 0.001$ . Die signifikante Wechselwirkung zwischen SOA X Gruppe,  $F(3,42) = 7.57$ ,  $p < 0.001$ , zeigt an, daß in der Patientengruppe eine stärkere Ausprägung des PRP-Effektes vorlag.

Außerdem waren die Rz2 der Patienten im Vergleich zur Kontrollgruppe generell verlangsamt,  $F(1,14) = 11.27$ ,  $p = 0.005$ .

**Tabelle 9.** Experiment 2(a). Mittlere Differenz der Rz für schwach- und stark intensive visuelle Reize (Aufgabe 2) und für Töne vor einem schwach- oder stark intensiven visuellen Reiz (Aufgabe 1) bei SOA 50 und SOA 800 für SHT-Patienten im Vergleich zu Kontrollpersonen.  $n$  = Stichprobenumfang;  $M$  = Mittelwert;  $s$  = Standardabweichung

Gruppe	Mittlere RzDifferenz (ms)							
	Aufgabe 2				Aufgabe 1			
	SOA 50		SOA 800		SOA 50		SOA 800	
	$M$	$(s)$	$M$	$(s)$	$M$	$(s)$	$M$	$(s)$
SHT-Patienten; $n = 8$	-48.5 <sup>1</sup>	(68.2)	68.9	(130.7)	-63.5*	(74.2)	-53.0	(68.3)
Kontrollgruppe; $n = 8$	5.5	(51.3)	57.4**	(42.8)	-9.8	(51.0)	27.1	(59.1)

nach Bonferoni korrigierte Irrtumswahrscheinlichkeit bei einseitigem t-Test  $\alpha' = 0.05$  ( $\alpha' = \alpha / \text{Hypothesenanzahl}$ ) \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.001$ ; <sup>1</sup>  $p = 0.08$

### 3.2. EXPERIMENT 2(A)

*Aufgabe 1* Über die mittleren Rz1 wurde eine ANOVA mit den Faktoren SOA, Intensität und Gruppe gerechnet. Abbildung 8 zeigt, daß sich die Patientengruppe und die Kontrollgruppe bezüglich der Performanz von Aufgabe 1 deutlich unterschieden. Dies wird durch die Ergebnisse der Dreifachinteraktion zwischen Gruppe X SOA X Intensität statistisch belegt,  $F(3,42) = 2.69$ ,  $p < 0.06$ . Wie Abbildung 8 und Tabelle 9 zeigen, wiesen die Patienten im Gegensatz zur Kontrollgruppe einen signifikanten Reaktionszeitanstieg für Töne auf, die kurz vor einem stark intensiven Reiz präsentiert wurden. Dieser Effekt zeigt an, daß die Verarbeitung der auditiven Reize in der Patientengruppe, nicht jedoch in der Kontrollgruppe, durch den stark intensiven Reiz gestört wurde.

Entsprechend des ausgeprägten Reaktionszeitanstieges in der Patientengruppe trat eine signifikante Interaktion zwischen SOA X Intensität auf,  $F(3,42) = 3.37$ ,  $p = 0.027$ . Unter der schwach intensiven Bedingung von Aufgabe 2 zeigte sich in der Kontrollgruppe ein leichter Anstieg der mittleren Rz1 zwischen SOA 350 und SOA 800, der jedoch nicht signifikant wurde,  $t(1,7) = -1.7$ ,  $p = 0.133$ .

Wie Abbildung 8 zeigt, wies die Patientengruppe generell höhere mittlere Rz1 auf als die Kontrollpersonen,  $F(1,14) = 7.02$ ,  $p = 0.019$ .

**Fehleranalyse** Tabelle 10 zeigt die Prozente der Fehler, die in der ersten und zweiten Aufgabe begangen wurden.

*Aufgabe 2* Es traten keine statistisch signifikanten Effekte in den mittleren Fehlerprozenten der zweiten Aufgabe auf.

3.2. EXPERIMENT 2(A)

*Aufgabe 1* Unabhängig von SOA und Intensität des visuellen Reizes traten in der Patientengruppe mehr Fehler auf als bei den Kontrollpersonen,  $F(1,14) = 4.41$ ,  $p = 0.054$ . Die Varianzanalyse erbrachte keine weiteren statistisch signifikanten Effekte.

*Vertauschungsfehler* Der Anteil an Vertauschungsfehlern war in der Patientengruppe wie in der Kontrollgruppe sehr gering (Tabelle 23; Anhang A<sub>1</sub>).

**Tabelle 10.** Experiment 2(a). Mittlere Fehlerprozentage in Aufgabe 1 und Aufgabe 2 in Abhängigkeit von Gruppe, SOA und Schwierigkeitsmanipulation von Aufgabe 2. *M* = Mittelwert; *s* = Standardabweichung

			SOA (ms)							
			Aufgabe 1				Aufgabe 2			
	Intensität visueller Reiz		50	100	350	800	50	100	350	800
SHT-Patienten	stark	<i>M</i> ( <i>s</i> )	1.0 (1.4)	1.0 (1.0)	0.7 (1.1)	1.6 (2.6)	0.9 (1.5)	0.7 (1.1)	0.7 (1.5)	0.9 (1.3)
	schwach	<i>M</i> ( <i>s</i> )	0.9 (1.0)	1.4 (1.5)	0.7 (1.1)	0.5 (1.0)	1.7 (2.7)	2.3 (3.9)	1.6 (1.7)	2.1 (4.3)
Kontrollpersonen	stark	<i>M</i> ( <i>s</i> )	0.5 (1.0)	0.0 (0.0)	0.4 (1.0)	0.2 (0.5)	0.9 (0.7)	0.2 (0.5)	1.7 (3.0)	1.4 (2.9)
	schwach	<i>M</i> ( <i>s</i> )	0.5 (0.7)	0.4 (0.6)	0.0 (0.0)	0.2 (0.5)	1.0 (1.4)	0.9 (1.0)	1.0 (1.4)	0.5 (1.0)

**Einzelaufgaben** In die folgende Analyse gingen die mittleren Rz beider Gruppen für die visuellen und auditiven Einzelaufgaben ein.

*Visueller Einzelaufgabenblock* Die mittleren Rz für korrekt beantwortete stark intensive und schwach intensive Buchstaben gingen in separate Varianzanalysen mit dem Faktor Gruppe als Zwischengruppenfaktor ein. Die mittleren Rz der Patienten auf stark intensive Reize ( $M = 576.2$  ms) und auf schwach intensive Reize ( $M = 649.2$  ms) waren im Vergleich zu den Kontrollpersonen erhöht, (Kontrollpersonen, mittlere Rz stark intensive visuelle Reize,  $M = 449.16$  ms; mittlere Rz schwach intensive visuelle Reize  $M = 519.16$  ms),  $F(1,14) = 7.35$ ,  $p = 0.017$ .

### 3.2. EXPERIMENT 2(A)

*Auditiver Einzelaufgabenblock* Die mittleren auditiven Einzelreaktionsaufgaben von Patienten ( $M = 421.9$  ms) und Kontrollpersonen ( $M = 411.7$  ms) unterschieden sich nicht,  $F(1,14) < 1$ .

#### 3.2.5 Diskussion zu Experiment 2(a)

In Experiment 2(a) sollte untersucht werden, ob junge SHT-Patienten in der Doppelaufgabensituation unter einer Störung der parallelen perzeptiven Verarbeitung von Reizen verschiedener Modalitäten durch erhöhte perzeptive Interferenz leiden.

Im Gegensatz zur Kontrollgruppe zeigten SHT-Patienten einen Reaktionszeitanstieg in Rz1 und Rz2 bei kurzem SOA und starker Intensität des visuellen Reizes. Dieses Ergebnis weist darauf hin, daß die parallele perzeptive Verarbeitung bei jungen SHT-Patienten durch perzeptive Interferenz beeinträchtigt ist. Damit muß Hypothese 1, in der kein Unterschied zwischen SHT-Patienten und Kontrollpersonen bezüglich der parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe angenommen wurde, abgelehnt werden.

Die beobachtete perzeptive Interferenz bei SHT-Patienten kann weder mit Flaschenhals-Interferenz noch mit Ressourcen-Interferenz erklärt werden, da keine Verschlechterung der Performanz bei schwacher Intensität des visuellen Reizes auftrat. Auch die Annahme der generellen Verlangsamung trägt nicht zur Begründung des Befundes der SHT-Patienten bei, da der Reaktionszeitanstieg in Rz1 und Rz2 nur bei kurzem SOA auftrat.

Die Resultate der jungen SHT-Patienten sind wie die Ergebnisse der gesunden älteren Personen mit der CMI-Annahme erklärbar. Da an Experiment 2(a) nur junge SHT-Patienten teilnahmen, kann die Störung der parallelen perzeptiven Verarbeitung durch Cross-Modale Interferenz jedoch nicht mit der Variable Alter in Zusammenhang

### 3.2. EXPERIMENT 2(A)

stehen. Das Auftreten von Cross-Modaler Interferenz bei jungen SHT-Patienten im Gegensatz zu jungen gesunden Personen sollte vielmehr in den hirnpathologischen Veränderungen nach traumatischer Hirnschädigung begründet liegen.

Es wäre vorstellbar, daß durch die Schädigungen des frontalen Netzwerkes nach gedecktem SHT die Fähigkeit zur Kontrolle irrelevanter Reize so stark eingeschränkt ist, daß der visuelle Reiz auch bei geringer Intensität mit der Verarbeitung der ersten Aufgabe interferiert. Dies würde bedeuten, daß die parallele perzeptive Verarbeitung bei jungen SHT-Patienten auch unter den Reizbedingungen gestört wäre, unter denen gesunde ältere Personen zur parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe fähig sind. Um dieser Annahme nachzugehen, wurde in Experiment 2(b) untersucht, ob junge SHT-Patienten wie gesunde ältere Personen nach Abschwächung der Intensität des stark intensiven Reizes zur parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Lage sind. Wenn dies nicht der Fall wäre, könnte davon ausgegangen werden, daß die hirnpathologischen Veränderungen nach gedecktem SHT spezifisch zur Entstehung von Cross-Modaler Interferenz beitragen.

## 3.3 Experiment 2(b)

### 3.3.1 Fragestellung

In Experiment 2(b) wurde untersucht, ob SHT-Patienten nach Abschwächung der Intensität des stark intensiven Reizes zur parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe fähig sind.

### 3.3.2 Methode

**Patientenstichprobe** Am Experiment nahmen 13 Patienten (davon drei Frauen) teil. Alle Patienten wiesen frontal akzentuierte Läsionen auf, die durch ein gedecktes SHT hervorgerufen wurden (Tabelle 12). Sie waren aktuelle oder ehemalige Patienten der Tagesklinik für kognitive Neurologie der Universität Leipzig. Die aktuellen Patienten der Klinik nahmen unentgeltlich an der Untersuchung teil, die ehemaligen Patienten erhielten eine Aufwandsentschädigung. Bei zwei Patienten mußte das Experiment vorzeitig abgebrochen werden. Ein Patient war auch nach den Übungsblöcken nicht in der Lage, die Zuordnung von Reizen und Antworttasten im Gedächtnis zu behalten. Die klinischen Daten der verbleibenden zehn Patienten sind in Tabelle 12 dargestellt. Aus Gründen der eingeschränkten Verfügbarkeit geeigneter Patienten nahmen fünf Patienten teil, die bereits Experiment 2(a) durchgeführt hatten. Da Experiment 2(b) mindestens 8

### 3.3 EXPERIMENT 2(B)

Wochen nach Experiment 2(a) durchgeführt wurde, sind Testwiederholungseffekte nicht wahrscheinlich. Zum Zeitpunkt des Experimentes lag bei allen Patienten das hirnschädigende Ereignis mindestens 13 Monate zurück. Tabelle 11 zeigt, daß sich die Patientenstichproben von Experiment 2(a) und 2(b) bezüglich der Zeit nach dem hirnschädigenden Ereignis und den Ergebnissen der neuropsychologischen Untersuchung nicht statistisch signifikant unterschieden.

**Tabelle 11.** Zusammenfassung der Klinischen Daten der SHT-Patienten aus Experiment 2(a) und Experiment 2(b). Hs=Hirnschädigung; FWI=Farb-Wort-Interferenztest; BADS= Behavioural Assessment of the Dysexecutive Syndrom; Mann-Whitney= nonparametrischer Test auf Gruppenunterschiede.

	Experiment 2a		Experiment 2b		Mann-Whitney	
	M/n	(s)	M/n	(s)	U	P
Zeit seit Hs (Monate)	74.1	(102.9)	50.2	(69.4)	27.0	0.25
FWI (C- Wert)+	6	(2.0)	4	(2.0)	26.5	0.21
GDS	13	(7.0)	12	(5.0)	34.0	0.84
BADS (alterskorrigiert)	87	(22)	88	(20)	35.5	0.68

+ C-Werte zwischen 4 und einschließlich 6 liegen im Durchschnittsbereich

**Voruntersuchung** In der neuropsychologischen Voruntersuchung wurden die gleichen Verfahren angewandt wie in Experiment 2(a). Die individuellen Werte des Behavioural Assessment of the Dysexecutive Syndrom (BADS; Wilson et al., 1996), der Geriatric Depression Scale (GDS, Yesavage et al., 1983) und des Farb-Wort-Interferenz-Testes (Wolfram & Wiczorek, 1986) sind in Tabelle 12 dargestellt. Bei sechs der zehn Patienten wurde eine exekutive Dysfunktion diagnostiziert. Vier Patienten wiesen unterdurchschnittliche Ergebnisse im Farb-Wort-Interferenz-Test auf. Keiner der Patienten zeigte Anzeichen einer klinisch relevanten Depression.

**Kontrollgruppe** Die demographischen Daten der Patientengruppe und der Kontrollgruppe sind auf der linken Seite von Tabelle 7 (3.2.2) dargestellt. Die

### 3.3 EXPERIMENT 2(B)

Kontrollpersonen wurden aus der Datenbank des Max-Planck-Institutes für Neuropsychologische Forschung, Leipzig, rekrutiert. Sie nahmen gegen ein Entgelt am Experiment teil und waren zur Patientenstichprobe in Alter, Geschlecht und höchstem Schulabschluß parallelisiert. Keiner der Kontrollprobanden berichtete neurologische Einschränkungen. Alle Kontrollpersonen und Patienten hatten eine normale- oder auf einen Normalwert korrigierte Seh- und Hörleistung.

**Design** Versuchsdesign, Versuchsablauf und Datenauswertung waren identisch mit Experiment 1(b). Die Leuchtintensität der visuellen Reize unter der einfachen Bedingung von Aufgabe 2 wurde also von  $42.7 \text{ cd/m}^2$  in Experiment 2(a) auf  $9.6 \text{ cd/m}^2$  in Experiment 2(b) abgeschwächt.

### 3.3 EXPERIMENT 2(B)

**Tabelle 12.** Individuelle demographische, neuropsychologische und klinische Daten der SHT-Patienten aus Experiment 2(a). ID=Identifikationsnummer; w=weiblich, m=männlich; Hs=Hirnschädigung; Exekutive Dysfunktion=Einstufung gemäß den Altersnormen der BADS, vorh=vorhanden; MRT=Magnet-Resonanz-Tomographie, Kont=Kontusion, front=frontal, temp= temporal, orb=orbital, L=links, R=rechts, B= beidseitig, DAS=Diffuse axonale Schädigung; FWI= Farbe-Wort-Interferenz-Test (C-Wert); GDS=Geriatric Depression Scale; M=Mittelwert; s=Standardabweichung

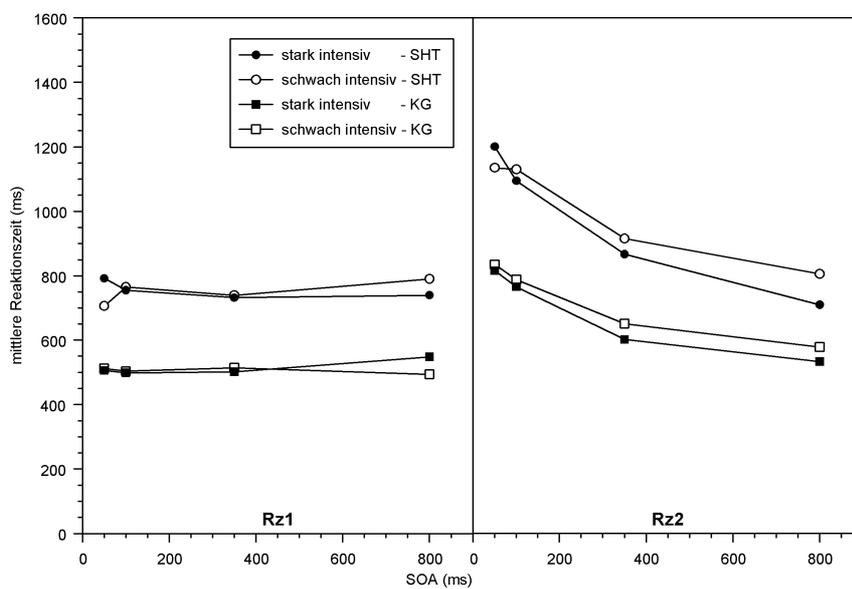
ID	Alter (Jahre) w/m	Bildung (Jahre)	Zeit seit Hs (Monate)	Exekutive Dysfunktion *	MRT-Befund	FWI +	GDS ++
194	23 w	12	32	vorh	Kont.: L front-temp., DAS	7	2
236	23 w	12	30	vorh	Kont.: L front-orb.	7	11
280	46 m	10	46	vorh	Kont.: L front	6	13
106	21 m	10	45	stark	Kont.: R front-orb., DAS	2	11
474	32 w	12	19	nein	Kont.: R front-orb., DAS	4	16
482	21 m	10	14	nein	Kont.: R front-orb., DAS	7	11
452	22 m	10	19	nein	DAS	1	
300	40 m	10	242	vorh	Kont.: B front., L temp.	3	22
291	39 m	10	30	nein	Kont.: B front.	3	13
342	31 m	8	12	stark	Kont.: B front.	7	11
M	29.6 (s)	10.4 (1.4)	50.2 (69.3)			5.6 (2.4)	13.4 (5.4)

Anmerkung: + C-Werte von 4 bis einschließlich 6 liegen im Durchschnittsbereich.  
++ Ab einem Wert von 23 ist von einer klinisch relevanten Depression auszugehen

### 3.3 EXPERIMENT 2(B)

#### 3.3.3 Ergebnisse

**Reaktionszeitanalyse** Zunächst wurden die mittleren Rz der Doppelaufgabenbedingung für Aufgabe 2 und Aufgabe 1 analysiert.



**Abbildung 9.** Experiment 2(b). Mittlere Rz für die erste Reaktion (Rz1; links) und die zweite Reaktion (Rz2; rechts) in Abhängigkeit von Gruppe und SOA für die abgeschwächte stark intensive (einfach) und schwach intensive (schwierig) Bedingung von Aufgabe 2. SHT = Patienten nach einem gedeckten Schädel-Hirn-Trauma; KG = Kontrollgruppe.

*Aufgabe 2* Wie in Experiment 2(a) wurde eine ANOVA mit den Faktoren SOA und Intensität des visuellen Reizes und dem Zwischengruppenfaktor Gruppe über die mittleren Rz2

### 3.3 EXPERIMENT 2(B)

gerechnet. Die Frage von Experiment 2(b) war, ob junge SHT-Patienten wie junge gesunde Personen zur parallelen perzeptiven Verarbeitung von visuellem Reiz und auditivem Reiz in der Lage sind, wenn die Intensität der stark intensiven visuellen Reize abgeschwächt ist.

Eine signifikante Dreifachinteraktion zwischen Gruppe X SOA X Intensität,  $F(3,54) = 2.91$ ,  $p = 0.043$ , weist auf grundlegende Unterschiede zwischen der Patientengruppe und der Kontrollgruppe hin. Wie Abbildung 9 und Tabelle 13 zeigen, trat in der Kontrollgruppe wiederum die erwartete unteradditive Interaktion zwischen SOA und Intensität auf. Im Gegensatz dazu zeigte die Patientengruppe auch nach Abschwächung der Intensität des stark intensiven Reizes einen signifikanten Reaktionszeitanstieg in Rz2, während in beiden Gruppen unter langen SOA-Bedingungen eine große Reaktionszeitdifferenz zwischen schwach intensiven und stark intensiven Reizen beobachtet wurde.

Entsprechend der Umkehrung bzw. Minimierung der Reaktionszeitdifferenz zwischen stark- und schwach intensiven Reizen bei kurzem SOA, im Vergleich zu langem SOA, trat eine signifikante Wechselwirkung zwischen SOA X Intensität,  $F(3,54) = 5.71$ ,  $p = 0.002$ , und ein signifikanter Haupteffekt des Faktors Intensität,  $F(1,18) = 18.91$ ,  $p < 0.001$ , auf.

Neben den beschriebenen Unterschieden in der Rz2 Performanz, wiesen beide Gruppen den erwarteten PRP-Effekt auf, was durch den signifikanten Haupteffekt des Faktors SOA angezeigt wird,  $F(3,54) = 128.66$ ,  $p < 0.001$ . SOA zeigte eine signifikante Wechselwirkung mit Gruppe,  $F(3,54) = 5.49$ ,  $p = 0.002$ . Dies spiegelt einen erhöhten PRP-Effekt in der Patientengruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe wider.

Wie Abbildung 9 zeigt, war die Rz2 der SHT-Patienten im Vergleich zur Kontrollgruppe generell verlangsamt. Somit zeigte die Varianzanalyse für den Faktor Gruppe einen signifikanten Haupteffekt,  $F(1,18) = 9.64$ ,  $p = 0.006$ .

### 3.3 EXPERIMENT 2(B)

**Tabelle 13.** Experiment 2(b). Mittlere Differenz der Rz für schwach- und stark intensive visuelle Reize (Aufgabe 2) und für Töne vor einem schwach- oder stark intensiven visuellen Reiz (Aufgabe 1) bei SOA 50 und SOA 800 für SHT-Patienten im Vergleich zu Kontrollpersonen unter modifizierten Bedingungen. n = Stichprobenumfang; M = Mittelwert; s = Standardabweichung

Versuchsgruppe	Mittlere RzDifferenz (ms)							
	Aufgabe 2				Aufgabe 1			
	SOA 50		SOA 800		SOA 50		SOA 800	
	M	(s)	M	(s)	M	(s)	M	(s)
SHT-Patienten; n = 10	-65.5*	(58.4)	95.8**	(85.5)	-85.5*	(84.6)	50.6	(127.9)
Kontrollgruppe; n = 10	19.1	(44.3)	45.1**	(37.5)	6.0	(48.7)	-53.9*	(67.3)

nach Bonferoni korrigierte Irrtumswahrscheinlichkeit bei einseitigem t-Test  $\alpha' = 0.05$  ( $\alpha' = \alpha / \text{Hypothesenanzahl}$ ) \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.001$

*Aufgabe 1* Wie für die mittleren Rz2 wurde auch für die mittleren Rz1 eine ANOVA mit den Faktoren SOA, Intensität und Gruppe durchgeführt.

Abbildung 9 zeigt, daß sich die Patientengruppe und die Kontrollgruppe bezüglich der Performanz von Aufgabe 1 deutlich unterschieden. Entsprechend erbrachte die Varianzanalyse eine signifikante Dreifachinteraktion zwischen Gruppe X SOA X Intensität,  $F(3,54) = 3.41$ ,  $p = 0.024$ . Wie aus Abbildung 9 und Tabelle 13 ersichtlich ist, zeigten die jungen Patienten im Gegensatz zur Kontrollgruppe einen signifikanten Reaktions- zeitanstieg für Töne, die kurz vor einem stark intensiven Reiz präsentiert wurden. Dieser Effekt zeigt an, daß die Verarbeitung der ersten Aufgabe bei SHT-Patienten, nicht jedoch in der Kontrollgruppe, bei Anwesenheit eines stark intensiven Reizes gestört wurde.

Bei schwacher Intensität des visuellen Reizes zeigte sich in der Patientengruppe ein Anstieg der mittleren Rz1 zwischen SOA 350 und SOA 800, der jedoch nicht signifikant wurde,  $t(1,9) < 1$ . Die Kontrollgruppe zeigte einen tendenziell signifikanten Anstieg zwischen SOA 350 und SOA 800 unter der stark intensiven Bedingung von Aufgabe 2,  $t(1,9) = -2.18$ ,  $p = 0.057$ , was auf das Vorliegen einer leichten Gruppierungstendenz (McCann & Johnston, 1992) hinweist.

### 3.3 EXPERIMENT 2(B)

Wie Abbildung 9 zeigt, wies die Patientengruppe generell höhere mittlere RZ1 auf als die Kontrollpersonen,  $F(1,18) = 6.68$ ,  $p = 0.019$ .

**Fehleranalyse** Tabelle 14 zeigt die Prozente der Fehler, die in der ersten und zweiten Aufgabe begangen wurden.

*Aufgabe 2* In der Patientengruppe traten mehr Fehler bei schwacher Intensität des visuellen Reizes auf als in der Kontrollgruppe. Von einem Geschwindigkeits-Genauigkeits-Ausgleich in der SHT-Gruppe ist jedoch nicht auszugehen, da der Anstieg der mittleren Fehlerprozente unabhängig vom SOA auftrat. In der Kontrollgruppe nahmen die mittleren Fehlerprozente mit ansteigenden SOA ab. Entsprechend der Unterschiede zwischen Patienten- und Kontrollgruppe war die Dreifachinteraktion zwischen SOA X Intensität X Gruppe signifikant,  $F(3,54) = 3.35$ ,  $p = 0.026$ . Es traten keine weiteren signifikanten Effekte auf.

*Aufgabe 1* Bei Patienten wie bei Kontrollpersonen traten die meisten Fehler in Aufgabe 1 bei kurzem SOA auf, und wenn der Ton vor einem stark intensiven Reiz dargeboten wurde. Entsprechend zeigte die Varianzanalyse einen signifikanten Effekt für SOA,  $F(3,54) = 3.45$ ,  $p = 0.023$ , und die Interaktion zwischen SOA X Intensität,  $F(3,54) = 5.82$ ,  $p = 0.003$ .

*Vertauschungsfehler* Die in Tabelle 23 (Anhang; A<sub>1</sub>) aufgeführten Prozente der Vertauschungsfehler in der Patientengruppe gehen zum Großteil auf eine Patienten (ID 106) zurück. In der Kontrollgruppe traten keine Vertauschungsfehler auf.

### 3.3 EXPERIMENT 2(B)

**Tabelle 14.** Experiment 2(b). Mittlere Fehlerprozentage in Aufgabe 1 und Aufgabe 2 in Abhängigkeit von Gruppe, SOA und Schwierigkeitsmanipulation von Aufgabe 2. *M* = Mittelwert; *s* = Standardabweichung

			SOA (ms)							
			Aufgabe 1				Aufgabe 2			
	Intensität visueller Reiz		50	100	350	800	50	100	350	800
SHT-Patienten	stark	<i>M</i>	2.9	1.8	1.7	1.5	2.8	1.7	2.1	3.1
		<i>(s)</i>	(3.7)	(4.8)	(3.4)	(3.9)	(4.5)	(4.3)	(3.4)	(3.9)
	schwach	<i>M</i>	2.1	2.2	1.7	2.1	4.4	4.7	4.7	4.3
		<i>(s)</i>	(3.8)	(5.6)	(3.9)	(3.8)	(7.0)	(7.7)	(7.6)	(7.0)
Kontrollpersonen	stark	<i>M</i>	0.8	0.1	0.0	0.0	0.7	0.7	0.6	0.1
		<i>(s)</i>	(1.0)	(0.4)	(0.0)	(0.0)	(0.7)	(1.4)	(1.0)	(0.4)
	schwach	<i>M</i>	0.4	0.0	0.0	0.3	1.0	0.7	0.7	1.7
		<i>(s)</i>	(0.9)	(0.0)	(0.0)	(0.6)	(1.1)	(1.0)	(1.2)	(3.5)

**Einzelaufgaben** In die folgende Analyse gingen die mittleren Rz beider Gruppen für die visuellen und auditiven Einzelaufgaben ein.

*Visueller Einzelaufgabenblock* Die mittleren Rz für korrekt beantwortete stark intensive und schwach intensive Buchstaben gingen in separate Varianzanalysen mit dem Faktor Gruppe als Zwischengruppenfaktor ein.

Die mittleren Rz für stark intensive Reize der Patientengruppe ( $M = 547.7$  ms) waren höher als in der Kontrollgruppe ( $M = 481$  ms). Trotz dieses deutlichen Unterschiedes erbrachte die ANOVA keinen statistisch signifikanten Effekt für Gruppe,  $F(1,19) = 2.78$ ,  $p = 0.11$ . Dies könnte in der geringen Power durch den kleinen Stichprobenumfang begründet liegen. Gleiches galt für die mittleren Rz der SHT-Patienten und Kontrollpersonen bei schwacher Intensität des visuellen Reizes (SHT-Patienten,  $M = 605.26$  ms; Kontrollpersonen,  $M = 524.5$  ms),  $F(1,19) = 3.14$ ,  $p = 0.09$ .

*Auditiver Einzelaufgabenblock* Von einer Kontrollperson konnten aus technischen Gründen keine auditiven Einzelreaktionszeiten erhoben werden. Wie in den mittleren Rz für visuelle

### 3.3 EXPERIMENT 2(B)

Einzelaufgaben waren die mittleren Rz für auditive Einzelaufgaben bei Patienten ( $M = 476.2$  ms) im Vergleich zur Kontrollgruppe ( $M = 379$  ms) erhöht. Auch hier kann angenommen werden, daß das Fehlen eines statistisch signifikanten Effektes in der geringen Power durch den kleinen Stichprobenumfang begründet liegt,  $F(1,18) = 3.27$ ,  $p = 0.089$ .

#### 3.3.4 Diskussion zu Experiment 2(b)

Die Frage von Experiment 2(b) war, ob junge SHT-Patienten wie junge gesunde Personen zur parallelen perceptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe fähig sind, wenn die Intensität des stark intensiven Reizes abgeschwächt ist.

Die Befunde von Experiment 2(b) zeigten deutliche Unterschiede zwischen der Performanz von SHT-Patienten und Kontrollpersonen, die sich in einer signifikanten Dreifachinteraktion zwischen SOA X Intensität X Gruppe in Rz1 und in Rz2 manifestierten. In der jungen Kontrollgruppe zeigte sich die erwartete unteradditive Interaktion in Rz2, während bei jungen SHT-Patienten unvermindert ein signifikanter Reaktionszeitanstieg in Rz1 und Rz2 auftrat. Im Vergleich zu Experiment 2(a) wiesen diese Effekte unter den modifizierten Bedingungen von Experiment 2(b) sogar eine höhere statistische Signifikanz auf, was vermutlich in der Erhöhung des Stichprobenumfangs der Patienten- und Kontrollgruppe in Experiment 2(b) begründet liegt.

Somit kann davon ausgegangen werden, daß die parallele Verarbeitung von auditiven und visuellen Perzeptionsstufen bei jungen SHT-Patienten auch nach Abschwächung der Intensität des stark intensiven Reizes durch Cross-Modale Interferenz gestört wird. Aus diesem Resultat kann gefolgert werden, daß die parallele perzeptive Verarbeitung bei SHT-Patienten stärker eingeschränkt ist als bei gesunden älteren Personen, da diese unter

modifizierten Bedingungen zur parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Lage waren. Diese stärkere Einschränkung der parallelen perzeptiven Verarbeitung trat auf, obwohl die untersuchten SHT-Patienten einen wesentlich geringeren Altersdurchschnitt aufwiesen als gesunde ältere Personen.

Es kann vermutet werden, daß eine traumatische Hirnschädigung mit frontal akzentuierten Läsionen spezifisch zur Entstehung von Cross-Modaler Interferenz beiträgt. Eine Annahme ist, daß eine Schädigung des frontalen Cortex nach SHT die Fähigkeit zur Kontrolle irrelevanter Reize stark einschränkt (z.B. Kaipio et al., 1999, 2000). In der Doppelaufgabe könnte dies dazu führen, daß der Einfluß des kurzzeitig irrelevanten zweiten Reizes auch dann nicht unterdrückt werden kann, wenn dessen Intensität abgeschwächt ist.

### 3.4 Allgemeine Diskussion zu Unterschieden zwischen SHT-Patienten und gesunden jungen Personen

#### 3.4.1 Parallele perzeptive Verarbeitung bei SHT-Patienten

In Experiment 2 wurde untersucht, ob junge SHT-Patienten wie junge gesunde Personen zur parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe fähig sind.

Die Ergebnisse der Experimente 2(a) und 2(b) weisen darauf hin, daß die parallele perzeptive Verarbeitung bei jungen SHT-Patienten gestört ist. Im Gegensatz zu jungen gesunden Personen zeigten junge SHT-Patienten einen Reaktionszeitanstieg in

Rz1 und Rz2 bei kurzem SOA und starker Intensität des visuellen Reizes. Diese Effekte können nur über das Auftreten von Cross-Modaler Interferenz bei jungen SHT-Patienten erklärt werden. Ressourcen-Interferenz, Flaschenhals-Interferenz und generelle Verlangsamung müssen dagegen zur Begründung der aktuellen Befunde abgelehnt werden, da die Verschlechterung der Performanz bei starker Intensität des visuellen Reizes auftrat und nicht unabhängig vom SOA war.

Bemerkenswert ist, daß die parallele perzeptive Verarbeitung bei jungen SHT-Patienten im stärkeren Ausmaß durch Cross-Modale Interferenz gestört wird als bei gesunden älteren Personen. Dies kann angenommen werden, da bei SHT-Patienten auch nach Abschwächung der Intensität des stark intensiven Reizes Cross-Modale Interferenz auftrat. Ältere Personen waren dagegen unter diesen modifizierten Bedingungen zur parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Lage.

Es kann vermutet werden, daß die Störung der parallelen Verarbeitung durch Cross-Modale Interferenz bei SHT-Patienten spezifisch mit der Schädigung des frontalen Cortex nach traumatischer Hirnverletzung in Verbindung steht. Diese Annahme wird durch Befunde unterstützt, die zeigen, daß der frontale Cortex mit der Kontrolle von Interferenz in Verbindung steht (z.B. Fuster, 1989),

Wenn eine Schädigung des frontalen Cortex spezifisch zur Entstehung von Cross-Modaler Interferenz beiträgt, stellt sich die Frage, warum auch gesunde ältere Personen bei starker Intensität des visuellen Reizes Cross-Modale Interferenz zeigten, obwohl diese Personengruppe keine frontalen Gewebläsionen aufweist. Auf diese Frage wird in der Abschließenden Diskussion (Kapitel 5) ausführlich eingegangen.

Ausgehend von den Befunden aus Experiment 2(a) und 2(b) kann angenommen werden, daß ein Defizit im Doppelaufgabenverarbeitungsprozeß von SHT-Patienten bereits an der frühen perzeptiven Verarbeitungsstufe lokalisiert ist. Dies schließt jedoch nicht aus,

daß der Doppelaufgabenverarbeitungsprozeß bei SHT-Patienten zusätzlich an weiteren Verarbeitungsstufen eingeschränkt sein könnte.

Auf spezifische Defizite an weiteren Stufen der Doppelaufgabenverarbeitung könnte eine Akzentuierung des PRP-Effektes, d.h. ein stärkerer Anstieg von Rz2 mit abnehmendem SOA, in der SHT-Gruppe im Vergleich zu gesunden Personen hinweisen. Dieser Befund wird im Folgenden diskutiert.

### 3.4.2 Diskussion des akzentuierten PRP-Effektes bei SHT-Patienten

Neben den für die Fragestellung relevanten Effekten, die auf Unterschiede in der perceptiven Verarbeitung zwischen jungen SHT-Patienten und Kontrollpersonen hinwiesen, trat sowohl in Experiment 2(a) als auch in Experiment 2(b) eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und SOA auf. Dieses Ergebnis zeigt an, daß der PRP-Effekt bei jungen SHT-Patienten stärker ausgeprägt war, als bei jungen gesunden Personen.

Eine Zunahme des PRP-Effektes kann über zwei alternative Ansätze erklärt werden. Zum einen kann erhöhte Interferenz an der motorischen Verarbeitungsstufe zu einem stärkeren Anstieg von Rz2 bei kurzem SOA führen (DeJong, 1993; Hartley & Little, 1999)<sup>7</sup>. Zum anderen würde auch eine Verlangsamung der Antwortauswahl in Aufgabe 1 bei kurzem SOA eine Verzögerung der Verarbeitung von Aufgabe 2 bewirken. Dies würde ebenfalls einen akzentuierten PRP-Effekt erklären.

---

<sup>7</sup> Ob der erhöhten Interferenz an der motorischen Verarbeitungsstufe ein zusätzlicher Flaschenhals bei der motorischen Verarbeitung der verschiedenen Reize (DeJong, 1993; siehe jedoch Sommer, Leuthold & Schubert, 2001) oder die Aufteilung einer Ressource (Gottsdanker, 1980; Navon & Miller, 1987) zugrunde liegt, ist bis heute unklar.

In einer Studie von Dell'Acqua et al. (2000) wurde der Frage nachgegangen, ob der stärkere PRP-Effekt bei SHT-Patienten im Vergleich zu gesunden Personen auf eine verlangsamte Antwortauswahl oder auf ein motorisches Verarbeitungsdefizit bei SHT-Patienten zurückzuführen ist. Um dies zu untersuchen wurde die Schwierigkeit der Antwortauswahl von Aufgabe 1 manipuliert (Behalten von einem, zwei oder drei Buchstaben<sup>8</sup>). Die Anforderung an die motorische Verarbeitung wurde bewußt sehr gering gehalten (kein Zeitdruck; verschiedene Antwortmodalitäten). Es zeigte sich, daß der PRP-Effekt bei SHT-Patienten mit der Schwierigkeit der Antwortauswahl zunahm. Ausgehend von diesen Ergebnissen schlußfolgerten Dell'Acqua et al. (2000), daß ein akzentuierter PRP-Effekt bei SHT-Patienten im Vergleich zu gesunden Personen auf eine Verlangsamung der Antwortauswahl in Aufgabe 1 zurückzuführen ist.

Eine Verlangsamung der Antwortauswahl in Aufgabe 1 könnte auch den stärkeren PRP-Effekt der SHT-Patienten gegenüber der Kontrollgruppe im aktuellen Doppelaufgabenexperiment erklären. Allerdings kann die alternative Annahme einer erhöhten Interferenz an der motorischen Verarbeitungsstufe nicht ausgeschlossen werden, da in den Experimenten 2(a) und 2(b) beide Reaktionen manuell und unter Zeitdruck ausgeführt werden mußten.

**Fazit** Zusammenfassend kann zur Lokalisation von Defiziten im Doppelaufgabenverarbeitungsprozeß bei SHT-Patienten folgendes ausgesagt werden:

1. Die Befunde der aktuellen Experimente weisen klar auf ein Defizit an der perceptiven Verarbeitungsstufe hin.
2. Zusätzlich könnte ein weiteres Defizit an der Stufe der Antwortauswahl lokalisiert sein. Diese Annahme sollte in weiteren Studien untersucht werden.

---

<sup>8</sup> Dieser experimentellen Manipulation lag die Annahme zugrunde, daß die Konsolidierung visueller Information zentrale Mechanismen erfordert (Jolicoeur & Dell'Acqua, 1998).

#### *ALLGEMEINE DISKUSSION ZU SHT-PATIENTEN*

Im nun folgenden zweiten Abschnitt des Klinischen Teils werden Parkinsonpatienten im Vergleich zu gesunden älteren Kontrollpersonen untersucht. Parkinsonpatienten können als klinisches Modell für eine Einschränkung der Basalganglienfunktion dienen. So kann aufgeklärt werden, ob eine Einschränkung der Basalganglienfunktion zur Störung der parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe beiträgt. Dies läßt Schlußfolgerungen zu, ob die parallele perzeptive Verarbeitung in der Doppelaufgabe auch durch eine subkortikale Funktionsstörung oder nur durch frontale Gewebsläsionen nach traumatischer Hirnschädigung beeinflusst wird. Außerdem kann der Einfluß von Alter auf die parallele perzeptive Verarbeitung überprüft werden, da Parkinsonpatienten und Kontrollpersonen einen fortgeschrittenen Altersdurchschnitt aufweisen.



*PARKINSONPATIENTEN*

## **Kapitel 4**

### **Doppelaufgabendefizite bei Parkinsonpatienten**

Wie in den vorangegangenen Kapiteln wird zunächst in den Stand der Forschung zu neuropathologischen Veränderungen- und Doppelaufgabendefiziten bei Parkinsonpatienten eingeführt.

## 4.1 Stand der Forschung

**Neuropathologische Veränderungen in Folge der Parkinson'schen Erkrankung und ihre Auswirkungen auf Motorik und Kognition** Erste Symptome der Parkinson'schen Erkrankung manifestieren sich meist zwischen dem 50zigsten und 60zigsten Lebensjahr. Zu den typischen motorischen Symptomen gehören Tremor (Zittern), Hypokinese (Bewegungsverlangsamung), Rigor (Steifheit der Skelettmuskulatur) und Störung posturaler Reflexe (gleichgewichtsregulierende Reflexe). Bei der Parkinson'schen Erkrankung kommt es aus bisher ungeklärten Gründen zur Degeneration von dopaminproduzierenden Zellen in der Substantia Nigra, einer subkortikalen Struktur, die zu den Basalganglien gehört und sich im Mittelhirn befindet. Die Degeneration dopaminproduzierender Zellen führt zu einem zunehmenden Dopaminmangel im Gehirn. Durch den Mangel an Dopamin wird darüberhinaus auch die Balance zwischen Dopamin und anderen Neurotransmittern (z.B. Acetylcholin, Glutamat) gestört. Die motorischen Symptome treten zu Beginn der Erkrankung meist unilateral auf, greifen später jedoch auch auf die andere Körperseite über. Je nach vorherrschender Symptomatik werden die Patienten dem tremordominanten, dem hypokinetischen oder dem Äquivalenztyp des Morbus Parkinson zugeordnet. Da die

## *PARKINSONPATIENTEN*

Ursache der Parkinson'schen Erkrankung noch immer unklar ist, kann bislang lediglich symptomatisch behandelt werden. Ziel der medikamentösen Behandlung ist es, den Dopaminmangel auszugleichen. Dafür wird zum einen eine Vorstufe des Dopamins (L-Dopa) verabreicht. Zum anderen kommen Substanzen zum Einsatz, welche die Dopaminausschüttung fördern (Dopaminagonisten) oder den Abbau von Dopamin hemmen (z.B. MAO-B-Hemmer). Das Problem der medikamentösen Behandlung ist, daß die Wirksamkeit der Medikamente im Verlauf der Erkrankung abnimmt. Eine Folge des nachlassenden Medikamenteneffektes sind spontan auftretende Dyskinesien (Überbewegungen). Im Gegensatz zum Ausfall der Willkürmotorik bleiben autonom innervierte Vitalfunktionen auch in der Spätphase der Erkrankung intakt. Parkinsonpatienten sterben je nach Krankheitsverlauf nach 10 - 20 Jahren an sekundären Folgen der Bettlägerigkeit.

Neben motorischen Symptome sind bei Parkinsonpatienten auch kognitive Defizite, z.B. bezüglich Planungsvermögen, Anwendung flexibler Problemlösestrategien und Organisation von Gedächtnisinhalten beschrieben (Brown & Marsden, 1987; Dubois & Pillon, 1997; Werheid, Hoppe, Thöne, Müller & von Cramon, im Druck). Diese „exekutiven“ Einschränkungen bei Parkinsonpatienten werden mit funktionellen Veränderungen des frontalen Cortex in Verbindung gebracht, die als eine sekundäre Folge des Dopaminmangels auftreten können, welcher durch die Beeinträchtigung der Basalganglienfunktion hervorgerufen wird (Alexander, DeLong & Strick, 1986; Chow & Cummings, 1999). Im Gegensatz zu SHT-Patienten weisen Parkinsonpatienten jedoch keine primäre Verletzung von Gewebe des frontalen Cortex auf.

Eine Störung exekutiver Funktionen sollte die Doppelaufgabenperformanz von Parkinsonpatienten beeinträchtigen. Dies wurde in einer Reihe von Studien bestätigt

(z.B. Dalrymple-Alford, Kalders, Jones & Watson, 1994; Malapani, Pillon, Dubois & Agid, 1994; Robertson, Hazlewood & Rawson, 1996).

**Generelle Verlangsamung** Ähnlich wie bei der Diskussion um Doppelaufgabendefizite bei gesunden Personen und SHT-Patienten wurde die Annahme aufgestellt, daß Doppelaufgabendefiziten bei Parkinsonpatienten lediglich eine Kumulation von Defiziten in den Einzelaufgaben zugrunde liegen könnte. Zur Beeinträchtigung der Einzelaufgabenperformanz sollte schon allein die motorische Verlangsamung beitragen, die als ein Hauptsymptom der Parkinson'schen Erkrankung auftritt (z.B. Evarts, Teräväinen & Calne, 1981; Gauntlett-Gilbert & Brown, 1998; Jahanshahi, Brown & Marsden, 1992).

Der Einwand, daß die schlechtere Doppelaufgabenperformanz von Parkinsonpatienten im Vergleich zu gesunden älteren Personen generell auf eine verlangsamte Einzelaufgabenperformanz zurückzuführen ist, konnte entkräftet werden. Parkinsonpatienten zeigten auch dann eine schlechtere Doppelaufgabenperformanz als Kontrollpersonen, wenn die Ergebnisse in den Einzelaufgaben angeglichen waren (Dalrymple-Alford et al., 1994; Robertson et al., 1996). Die beobachteten Doppelaufgabendefizite können somit nicht auf unterschiedliche Ausgangswerte in den Einzelaufgaben zurückgeführt werden.

**Erhöhte Interferenz bei Parkinsonpatienten** Analog zu gesunden älteren Personen und SHT-Patienten kann vermutet werden, daß eine Erhöhung von Interferenz an spezifischen Verarbeitungsstufen der Doppelaufgabe zur Entstehung von Doppelaufgabendefiziten bei Parkinsonpatienten beiträgt. Prinzipiell könnte erhöhte Interferenz bei Parkinsonpatienten an allen Verarbeitungsstufen der Doppelaufgabe auftreten. Im Zusammenhang mit den Ergebnissen der SHT-Patienten und gesunden älteren Personen

## PARKINSONPATIENTEN

aus den vorangegangenen Experimenten ist jedoch von besonderem Interesse, ob auch bei Parkinsonpatienten erhöhte Interferenz an der perzeptiven Verarbeitungsstufe auftritt.

Im Folgenden wird dargestellt, welche Ansätze zur Erklärung von erhöhter perzeptiver Interferenz bei Parkinsonpatienten in Betracht gezogen werden müssen.

*Ressourcen-Interferenz* Ein Ansatz zur Erklärung von Defiziten in unterschiedlichen Anforderungen basiert auf der Annahme einer Ressourcenreduktion bei Parkinsonpatienten im Vergleich zu gesunden älteren Personen. Nach Brown und Marsden (1988) wird Ressourcen-Interferenz bei Parkinsonpatienten immer dann erwartet, wenn eine Aufgabe die interne Generierung von Abläufen erfordert. Im Gegensatz zur internen Generierung von Abläufen sollte die Ausführung extern vorgegebener- oder automatisierter Handlungspläne nur einen geringen Anteil der reduzierten Ressource beanspruchen und nicht zu Ressourcen-Interferenz führen (Cools et al., 1984). Die Ergebnisse einer Doppelaufgabenstudie von Brown und Marsden (1991) unterstützten diese Annahme. Parkinsonpatienten zeigten nur dann eine schlechtere Doppelaufgabenperformanz als Kontrollpersonen, wenn eine Stroop-Aufgabe mit einer Aufgabe kombiniert war, welche eine interne Generierung von Abläufen verlangte (Random-generation Aufgabe). Dagegen traten in der Patientengruppe keine Einschränkungen auf, wenn simultan zur Stroop-Aufgabe automatisierte Handlungen (mit dem Fuß klopfen; die Silbe 'Blah' sprechen) ausgeführt werden mußten.

Ein Problem der Ressourcen-Annahme zur Erklärung von Doppelaufgaben-defiziten bei Parkinsonpatienten ist, daß das Ausmaß an Ressource, welches zur Verarbeitung einer Aufgabe beansprucht wird, nicht spezifiziert werden kann. Dies liegt darin begründet, daß der Ressourcenbegriff selbst im hohen Maße unspezifisch ist. Post hoc können somit Defizite in jeder beliebigen Doppelaufgabensituation auf eine

## *PARKINSONPATIENTEN*

Ressourcenreduktion bei Parkinsonpatienten zurückgeführt werden. Eine genauere Aufklärung von Doppelaufgabendefiziten bei Parkinsonpatienten wird auf diese Weise nicht erreicht.

Dennoch kann nicht ausgeschlossen werden, daß im aktuellen Doppelaufgabenexperiment bei der ressourcenintensiven Verarbeitung des perzeptiv schwierigen Reizes und bei kurzem SOA in der Parkinsongruppe Ressourcen-Interferenz auftritt (für Details siehe Abschnitt 2.1).

*Flaschenhals-Interferenz* Alternativ zur Ressourcen-Interferenz könnte erhöhte perzeptive Interferenz bei Parkinsonpatienten auch durch Flaschenhals-Interferenz entstehen. Die Flaschenhals-Interferenz-Annahme wird durch den Befund unterstützt, daß Parkinsonpatienten noch schlechter als gesunde ältere Personen in der Lage sind, kontrastarme Reize zu erkennen (z.B. Regan & Neima, 1984). Dies wird mit einer Funktionsstörung bestimmter (amakriner) Zellen in der Retina in Verbindung gebracht, die durch Dopaminmangel ausgelöst wird (z.B. Nightingale, Mitchell & Howe, 1986). Die erschwerte Verarbeitung kontrastarmer Reize bei Parkinsonpatienten könnte dazu führen, daß der zusätzliche Verarbeitungsanteil der schwach intensiven Reize nicht parallel mit Verarbeitungsstufen von Aufgabe 1 verarbeitet werden kann (Abschnitt 2.1).

*Cross-Modale Interferenz* Ausgehend von den Befunden der gesunden älteren Personen und SHT-Patienten könnte weiterhin erwartet werden, daß auch bei Parkinsonpatienten Cross-Modale Interferenz auftritt. Diese Annahme wird durch Befunde unterstützt, die zeigen, daß die Verarbeitung eines Reizes bei Parkinsonpatienten noch stärker durch die Darbietung eines irrelevanten Reizes gestört wird als bei gesunden älteren Personen. Dies war sowohl bei der Darbietung visueller als auch auditiver Störreize der Fall

(Sharpe, 1990, 1992). In Übereinstimmung mit diesen Befunden wurde eine verschlechterte Performanz von Parkinsonpatienten im Vergleich zu Kontrollpersonen auch beobachtet, wenn Urteile über eine bestimmte Komponente eines visuellen Reizes abgegeben werden mußten, während andere Komponenten des gleichen Reizes zu ignorieren waren (Maddox, Filoteo, Delis & Salmon, 1996). Unter Anwendung ereigniskorrelierter Potentiale wurde weiterhin gezeigt, daß Parkinsonpatienten schlechter als Kontrollpersonen an neue irrelevante Reize habituieren (Tsuchiya, Yamaguchi & Kobayashi, 2000). Die referierten Befunde weisen darauf hin, daß die Fähigkeit zur Kontrolle irrelevanter Reize bei Parkinsonpatienten eingeschränkt ist. Nach der CMI-Annahme sollte in der Doppelaufgabensituation folglich die Wahrscheinlichkeit erhöht sein, daß der zweite Reiz mit der Verarbeitung des ersten Reizes interferiert, und so auch bei Parkinsonpatienten Cross-Modale Interferenz entsteht.

Offen ist, inwieweit eine Einschränkung der Basalganglienfunktion zusätzlich zum Faktor Alter die parallele perzeptive Verarbeitung in der Doppelaufgabe beeinträchtigt. Wenn eine Einschränkung der Basalganglienfunktion zusätzlich zum Alter zur Entstehung von Cross-Modaler Interferenz beitragen würde, wäre zu vermuten, daß bei Parkinsonpatienten auch nach Abschwächung der Intensität des stark intensiven Reizes Cross-Modale Interferenz auftritt. In diesem Fall könnte nicht länger davon ausgegangen werden, daß traumatische Hirnschädigungen mit frontal akzentuierten Läsionen spezifisch zur Entstehung von Cross-Modaler Interferenz beitragen.

Wie und in welchem Ausmaß die parallele perzeptive Verarbeitung bei Parkinsonpatienten gestört ist, wurde in den Experimenten 3(a) und 3(b) untersucht.

## 4.2 Experiment 3(a)

### 4.2.1 Fragestellung

In Experiment 3(a) wurde untersucht, ob eine Einschränkung der Basalganglienfunktion bei Parkinsonpatienten zur Beeinträchtigung der parallelen perceptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe beiträgt. Außerdem wurden die Ergebnisse zum Einfluß des Alters auf die parallele perzeptive Verarbeitung überprüft.

### 4.2.2 Methode

**Patientenstichprobe** Am Experiment nahmen 15 Patienten (davon sechs Frauen) gegen ein Entgelt teil. Alle Patienten wurden in Kooperationseinrichtungen des Projektes C9 „Kognitive Störungen bei Morbus Parkinson“ rekrutiert und wiesen die Diagnose „ideopatischer Morbus Parkinson“ auf. Sie wurden durch ihre behandelnden Neurologen in den Neurologischen Universitätskliniken Leipzig und Dresden, im Krankenhaus Martha Maria (Halle), im Diakonie-Krankenhaus Zschadraß und im Neurologischen Rehabilitationszentrum Bennewitz vermittelt. Vor der Aufnahme in den Patientenpool wurde mit jedem Patienten eine neuropsychologische Eingangsuntersuchung mit schriftlicher Befundung durchgeführt. Die Teilnahme an dieser Untersuchung sowie an nachfolgenden Experimenten war freiwillig. Der Schweregrad der Er-

#### 4.2 EXPERIMENT 3(A)

krankung wurde von erfahrenen Neurologen der entsprechenden Einrichtungen auf der Hoehn & Yahr Skala (Hoehn & Yahr, 1967)<sup>9</sup> eingeschätzt. Außer der Hoehn & Yahr-Skala wurde die motorische Symptomatik anhand von Subskala 3 der Unified Parkinson's Disease Rating Scale (UPDRS; Fahn & Elton et al., 1987) beurteilt. Mit dieser Subskala werden die motorischen Symptome wie Tremor und Rigidität für jede Extremität ermittelt. In dieser Subskala sind maximal 88 Punkte erreichbar. Die UPDRS wurde bei maximaler Wirksamkeit der Medikamente vom behandelnden Neurologen durchgeführt. In die Patientenstichprobe gingen nur Patienten ein, die sich mindestens im Erkrankungsstadium II nach Hoehn & Yahr (1967) befanden.

Die Datensätze von vier Patienten mußten von der weiteren Auswertung ausgeschlossen werden. In einem Fall wurde die Diagnose Morbus Parkinson in Frage gestellt, da die Patientin nicht auf L-Dopa-Medikation ansprach. Ein Patient litt während des Experimentes unter Bewegungsunfähigkeit der Finger der rechten Hand. Die Datensätzen von zwei weiteren Patienten wurden ausgeschlossen, da Fehlerraten über 50% auftraten. Die klinischen Daten der verbleibenden elf Patienten können der linken Seite von Tabelle 15 und aus Tabelle 16 entnommen werden. Alle Patienten wurden bei voller Wirksamkeit ihrer Medikamente (im ON-Stadium) untersucht.

**Voruntersuchungen** Die individuellen Ergebnisse der neuropsychologischen Eingangsuntersuchung sind in Tabelle 16 dargestellt. Mit den Patienten wurde ein Demenzscreening mit Hilfe des Mini Mental Status Tests (MMST, Folstein, Folstein, & Hugh, 1975) durchgeführt. Der kritische Mittelwert von 24 Punkten wurde nicht unterschritten. Das Bestehen einer Depression wurde über die Geriatric Depression Scale (GDS, Yesavage et al., 1983) abgeprüft. Ab einem Wert von 23 kann von einer klinisch

---

<sup>9</sup> Die modifizierte Stadienbestimmung nach Hoehn & Yahr (1967) wird auf einer Skala von 0-5 durchgeführt. 0 = keine Anzeichen der Erkrankung; 5 = ohne Hilfe an den Rollstuhl gefesselt.

#### 4.2 EXPERIMENT 3(A)

relevanten Depression ausgegangen werden. Dieser kritische Wert wurde von keinem der Patienten erreicht. Weiterhin wurde der Farb-Wort-Interferenz-Test (Wolfram & Wiczorek, 1986) durchgeführt. Vier Patienten zeigten unterdurchschnittliche Ergebnisse.

**Kontrollgruppe** Die demographischen Daten der Patientengruppe und der Kontrollgruppe sind auf der linken Seite von Tabelle 15 dargestellt. Die Kontrollpersonen wurden aus der Datenbank des Max-Planck-Institutes für Neuropsychologische Forschung Leipzig rekrutiert, und waren zur Patientenstichprobe in Alter, Geschlecht und höchstem Schulabschluß parallelisiert. Keiner der Kontrollprobanden berichtete neurologische Einschränkungen. Alle Kontrollpersonen wie auch die Parkinsonpatienten hatten eine normale oder auf einen Normalwert korrigierte Seh- und Hörleistung.

**Tabelle 15.** Demographische Daten von Parkinsonpatienten (PD) und Kontrollpersonen (KP) in Experiment 3(a) und Experiment 3(b). Geschlecht = weiblich/ männlich; Schulbildung = höchster Schulabschluß; Kruskal-Wallis = nonparametrischer Test auf Gruppenunterschiede.

	Experiment 3a				Experiment 3b				Kruskal-Wallis	
	<i>M</i>	<i>(s)</i>	<i>M</i>	<i>(s)</i>	<i>M</i>	<i>(s)</i>	<i>M</i>	<i>(s)</i>	<i>C</i> <sup>2</sup>	<i>P</i>
Alter	55.0	(6.0)	56.6	(6.2)	57	(5.0)	57.55	(5.0)	0.79	0.85
Altersspanne	47-63	-	47-65	-	48-63	-	49-65	-	-	-
Geschlecht	4/7	-	4/6	-	5/6	-	5/6	-	-	-
Schulbildung	10.0	(2.0)	11.38	(1.7)	9.0	(1.0)	10.8	(2.0)	1.90	0.59

**Versuchsdesign** Versuchsdesign, Versuchsablauf und Datenauswertung waren identisch mit Experiment 2(a). Die stark intensiven visuellen Reize in der einfachen Bedingung von Aufgabe 2 wurden entsprechend mit ungeminderter Leuchtintensität (42.7 cd/m<sup>2</sup>) präsentiert. Auch alle anderen Reizparameter waren identisch mit Experiment 2(a).

4.2 EXPERIMENT 3(A)

**Tabelle 16.** Individuelle demographische, neuropsychologische und klinische Daten der Parkinsonpatienten aus Experiment 3(a). ID=Identifikationsnummer; w=weiblich, m=männlich; Dauer=Dauer der Erkrankung ab Auftreten der ersten Symptome; li=links, re=rechts; T=Tremordominanztyp, R=Akinese-igordominanz-typ, A=Aquivalenztyp; MMST=Mini Mental Status Test; FWI=Farbe-Wort-Interferenz-Test (C-Wert); GDS=Geriatric Depression Scale; M=Mittelwert; s=Standardabweichung.

ID	Alter	Bildung (Jahre)	Dauer (Monate)	Seite	Typ	MMST	FWI	GDS
	(Jahre) w/m						+	++
6	51 w	10	61	re	A	30	6	6
19	47 w	10	67	li	A	28	5	12
34	48 m	12	103	li	R	27	2	3
36	63 w	8	49	re	A	26	5	7
51	53 w	10	12	re	R	29	2	13
54	63 m	8	11	li	A	24	0	8
71	54 m	8	95	re	R	26	7	12
78	60 m	12	92	re	A	27	5	4
85	56 m	10	95	li	A	27	2	17
89	60 m	10	2	re	R	30	4	8
91	55 m	12	32	li	T	29	6	12
5li/6re 1T/4R/6A								
M	55.45	10.00	56.27			27.55	4.00	9.27
(s)	(5.57)	(1.55)	(37.68)			(1.86)	(2.19)	(4.27)

+ Ab einem Mittelwert von 24 besteht der Verdacht einer dementiellen Entwicklung. ++ C-Werte zwischen 4 bis einschließlich 6 liegen im Durchschnittsbereich.

+++ Ab einem Wert von 23 besteht der Verdacht einer klinisch relevanten Depression.

### 4.2.3 Hypothesen

Da Einschränkungen der parallelen perceptiven Verarbeitung bereits bei gesunden älteren Personen festgestellt wurden (Kapitel 2), kann angenommen werden, daß auch bei Parkinsonpatienten erhöhte perceptive Interferenz auftritt. Zur Erklärung der erhöhten perceptiven Interferenz können die folgenden Hypothesen aufgestellt werden:

#### 1. Cross-Modale Interferenz

Wenn die parallele perceptive Verarbeitung bei Parkinsonpatienten durch Cross-Modale Interferenz gestört ist, sollten *bei kurzem SOA* folgenden Reaktionszeitparameter beobachtet werden:

$$Rz2_{\text{starke Intensität visueller Reiz}} > Rz2_{\text{schwache Intensität visueller Reiz}}$$

$$Rz1_{\text{starke Intensität visueller Reiz}} > Rz1_{\text{schwache Intensität visueller Reiz}}$$

#### 2. Generelle Verlangsamung

Wenn sich Parkinsonpatienten in den Mechanismen der Doppelaufgabenverarbeitung nicht von gesunden älteren Personen unterscheiden, jedoch in beiden Reaktionen gegenüber der Kontrollgruppe verlangsamt sind, sollten *unabhängig von SOA und Intensitätsmanipulation* folgende Reaktionszeitparameter beobachtet werden:

$$Rz2_{\text{Parkinsonpatienten}} > Rz2_{\text{Kontrollpersonen}}$$

$$Rz1_{\text{Parkinsonpatienten}} > Rz1_{\text{Kontrollpersonen}}$$

#### 4.2 EXPERIMENT 3(A)

### 3. Ressourcen-Interferenz

Wenn die parallele perzeptive Verarbeitung bei Parkinsonpatienten durch Ressourcen-Interferenz gestört ist, sollten *bei kurzem SOA* folgende Parameter beobachtet werden:

$$Rz2_{\text{schwache Intensität visueller Reiz}} > Rz2_{\text{starke Intensität visueller Reiz}}$$

$$Rz1_{\text{schwache Intensität visueller Reiz}} > Rz1_{\text{starke Intensität visueller Reiz}}$$

### 4. Flaschenhals-Interferenz

Wenn die parallele perzeptive Verarbeitung bei Parkinsonpatienten durch Flaschenhals-Interferenz gestört ist, sollten *unabhängig vom SOA* folgende Reaktionszeitparameter beobachtet werden:

$$Rz2_{\text{schwache Intensität visueller Reiz}} > Rz2_{\text{starke Intensität visueller Reiz}}$$

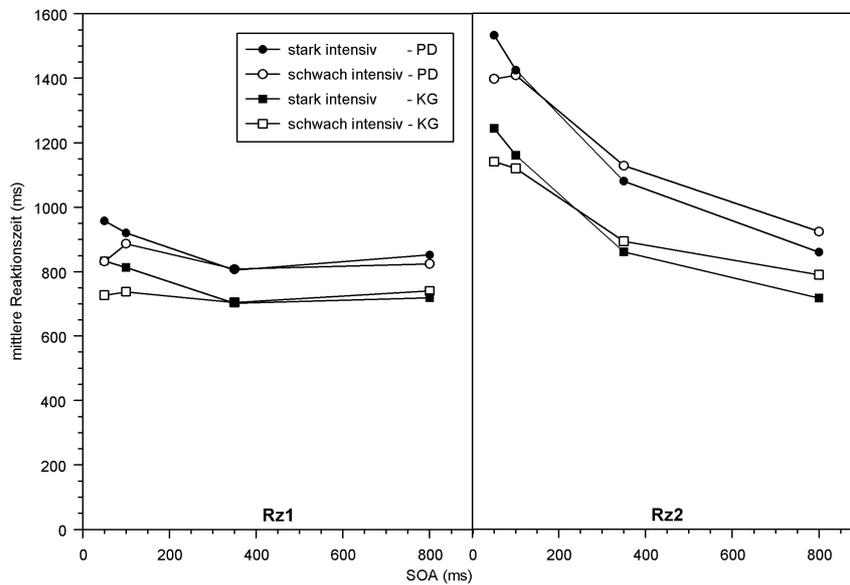
$$Rz1 \text{ weder durch SOA noch durch Intensitätsmanipulation beeinflusst}$$

#### 4.2.4 Ergebnisse

**Doppelaufgaben** Zunächst wurden die mittleren Rz der Doppelaufgabenbedingung für Aufgabe 2 und Aufgabe 1 analysiert.

*Aufgabe 2* Eine Varianzanalyse wurde mit den Faktoren SOA und Intensität des visuellen Reizes und dem Zwischengruppenfaktor Gruppe durchgeführt. Die Frage von Experiment 3(a) war, ob sich Parkinsonpatienten und gesunde Kontrollpersonen bezüglich der perzeptiven Verarbeitung verschiedener Reize in der Doppelaufgabe unterscheiden.

4.2 EXPERIMENT 3(A)



**Abbildung 10.** Experiment 3(a). Mittlere Rz für die erste Reaktion (Rz1; links) und die zweite Reaktion (Rz2; rechts) in Abhängigkeit von Gruppe und SOA für die stark intensive (einfach) und die schwach intensive (schwierig) Bedingung von Aufgabe 2. PD = Parkinsongruppe; KG = Kontrollgruppe.

Wenn sich die Gruppen bezüglich der perzeptiven Verarbeitung unterscheiden, sollte eine signifikante Dreifachinteraktion zwischen Gruppe X SOA X Intensität auftreten. Dies war nicht der Fall,  $F(3,57) < 1$ . Wie Abbildung 10/ rechts und Tabelle 17 zeigen, ist der Verlauf der mittleren Rz2 bei Parkinsonpatienten und Kontrollpersonen sehr ähnlich. Bei langem SOA lagen in beiden Gruppen die Rz2 für schwach intensive Reize deutlich über den Rz2 für stark intensive Reize. Im Gegensatz dazu trat bei kurzem SOA in der Parkinsongruppe wie auch in der Kontrollgruppe ein signifikanter Reaktionszeitanstieg für stark intensive Reize im Vergleich zu schwach intensiven Reizen auf (Tabelle 17). Der Anstieg der Rz2 für die stark intensiven Reize bei kurzem

#### 4.2 EXPERIMENT 3(A)

SOA war bei den Parkinsonpatienten im Mittel 35 ms höher als in der Kontrollgruppe. Dieser Unterschied war jedoch nicht signifikant,  $t(1,19) < 1$ .

Die Ergebnisse der Kontrollgruppe stellten eine Replikation der Ergebnisse der älteren Probanden in Experiment 1(a) dar.

Zusammengefaßt zeigen diese Resultate, daß die parallele perzeptive Verarbeitung in der Doppelaufgabe bei Parkinsonpatienten und Kontrollpersonen in ähnlicher Weise gestört ist.

Entsprechend des Reaktionszeitanstieges für stark intensive Reize bei kurzem SOA und der umgekehrten Reaktionszeitdifferenz bei langem SOA zeigte die Varianzanalyse eine signifikante SOA X Intensität Wechselwirkung,  $F(3,57) = 13.29$ ,  $p < 0.001$ , jedoch keinen signifikanten Haupteffekt des Faktors Intensität,  $F(1,19) < 1$ .

Parkinsonpatienten und Kontrollpersonen zeigten den erwarteten PRP-Effekt, was sich in einem signifikanten Haupteffekt des Faktors SOA widerspiegelt,  $F(3,57) = 163.64$ ,  $p < 0.001$ . Die signifikante Wechselwirkung zwischen SOA X Gruppe,  $F(3,57) = 2.94$ ,  $p = 0.041$ , zeigt an, daß in der Parkinsongruppe eine stärkere Ausprägung des PRP-Effektes vorlag.

Bezüglich der generellen Rz2 trat kein Unterschied zwischen den Gruppen auf,  $F(1,19) = 2.56$ ,  $p = 0.126$ .

**Tabelle 17.** Experiment 3(a). Mittlere Differenz der Rz für schwach- und stark intensive visuelle Reize (Aufgabe 2) und für Töne vor einem schwach- oder stark intensiven visuellen Reiz (Aufgabe 1) bei SOA 50 und SOA 800 für Parkinsonpatienten (PD) im Vergleich zu Kontrollpersonen (KG).  $n$  = Stichprobenumfang;  $M$  = Mittelwert;  $s$  = Standardabweichung

Gruppe	Mittlere Rzdifferenz (ms)							
	Aufgabe 2				Aufgabe 1			
	SOA 50		SOA 800		SOA 50		SOA 800	
	<i>M</i>	<i>(s)</i>	<i>M</i>	<i>(s)</i>	<i>M</i>	<i>(s)</i>	<i>M</i>	<i>(s)</i>
PD-Patienten; $n = 11$	-135.1**	(126.3)	63.7*	(89.0)	-125.2**	(126.3)	-27.6	(83.7)
KG; $n = 10$	-103.5*	(122.1)	72.2*	(95.1)	-105.9*	(111.9)	21.3	(43.9)

nach Bonferoni korrigierte Irrtumswahrscheinlichkeit bei einseitigem t-Test  $\alpha' = 0.05$  ( $\alpha' = \alpha / \text{Hypothesenanzahl}$ ) \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.001$

#### 4.2 EXPERIMENT 3(A)

*Aufgabe 1* Wie für die mittleren Rz2 wurde auch für die mittleren Rz1 eine ANOVA durchgeführt. Als Zwischengruppenfaktor wurde Gruppe verwandt, die anderen Faktoren waren SOA und Intensität des visuellen Reizes. Auch in den mittleren Rz1 war die Dreifachinteraktion zwischen Gruppe X SOA X Intensität nicht signifikant,  $F(3,57) < 1$ . Wie aus Abbildung 10 und Tabelle 17 ersichtlich ist, trat bei Parkinsonpatienten wie bei den Kontrollpersonen ein deutlicher Reaktionszeitanstieg in Rz1 auf, wenn der Ton kurz vor einem stark intensiven Reiz dargeboten wurde. Die Resultate der Kontrollpersonen replizieren somit auch bezüglich der Rz1 die Resultate der älteren Versuchsgruppe in Experiment 1(a). Der Reaktionszeitanstieg in den mittleren Rz1 war in der Parkinsongruppe im Mittel 20 ms größer als in der Kontrollgruppe. Wie in Rz2 war dieser Unterschied jedoch nicht signifikant,  $t(1,19) < 1$ . Folglich ist die Verarbeitung des Tones bei Parkinsonpatienten und bei Kontrollpersonen in gleicher Weise bei kurzem SOA und starker Intensität des visuellen Reizes gestört.

Wie Abbildung 10 zeigt, wurden die Rz1 beider Gruppen durch SOA,  $F(3,57) = 7.72$ ,  $p < 0.001$ , und Intensität,  $F(1,19) = 12.46$ ,  $p = 0.002$ , beeinflusst. Die Rz1 stiegen an, wenn Töne kurz vor einem stark intensiven Reiz dargeboten wurden. Entsprechend war die Wechselwirkung zwischen SOA X Intensität signifikant,  $F(3,57) = 8.3$ ,  $p < 0.001$ .

Die generellen Rz1 von Parkinsonpatienten und Kontrollpersonen unterschieden sich nicht,  $F(1,19) = 1.32$ ,  $p = 0.265$ .

**Fehleranalyse** Tabelle 18 zeigt die Fehlerprozentage der ersten und zweiten Aufgabe.

*Aufgabe 2* Tabelle 18 zeigt, daß Parkinsonpatienten tendenziell mehr Fehler produzierten als die Kontrollpersonen,  $F(1,9) = 2.87$ ,  $p = 0.106$ . Bei beiden Gruppen traten mehr Fehler bei schwacher Intensität des visuellen Reizes auf,  $F(1,9) = 7.7$ ,  $p = 0.012$ . Es wurden keine weiteren signifikanten Effekte festgestellt.

4.2 EXPERIMENT 3(A)

*Aufgabe 1* Bei der Ausführung von Rz1 waren die mittleren Fehlerprozentage bei Parkinson- patienten höher als in der Kontrollgruppe,  $F(1,19) = 4.74$ ,  $p = 0.042$ . In beiden Gruppen stieg die Fehlerrate mit abnehmenden SOA an,  $F(3,57) = 3.74$ ,  $p = 0.016$ . Parkinsonpatienten und Kontrollpersonen begingen die meisten Fehler bei kurzem SOA und starker Intensität des visuellen Reizes. Entsprechend war die Wechselwirkung zwischen SOA X Intensität signifikant,  $F(3,57) = 3.05$ ,  $p = 0.036$ . Es traten keine weiteren signifikanten Effekte auf.

*Vertauschungsfehler* Der Großteil der Vertauschungsfehler, die in Tabelle 23 (Anhang; A<sub>1</sub>) für die Parkinsongruppe dargestellt sind, wurden bei einer Patientin (ID 36) beobachtet. Alle anderen Patienten und Kontrollpersonen zeigten kaum Vertauschungsfehler.

**Tabelle 18.** Experiment 3(a). Mittlere Fehlerprozentage in Aufgabe 1 und Aufgabe 2 in Abhängigkeit von Gruppe, SOA und Schwierigkeitsmanipulation von Aufgabe 2. PD-Patienten = Parkinsonpatienten; KG = Kontrollpersonen; M = Mittelwert; s = Standardabweichung.

			SOA (ms)							
		Aufgabe 1				Aufgabe 2				
Intensität visueller Reiz		50	100	350	800	50	100	350	800	
PD-Patienten	stark	M (s)	1.1 (1.2)	2.0 (2.5)	0.9 (1.3)	1.0 (1.5)	1.6 (2.0)	1.6 (2.8)	1.0 (1.8)	1.5 (2.2)
	schwach	M (s)	1.4 (1.4)	0.8 (1.0)	1.1 (1.2)	0.6 (1.0)	1.8 (2.1)	2.9 (4.3)	2.2 (2.7)	2.8 (2.8)
KG	stark	M (s)	0.8 (1.5)	1.4 (1.7)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.3 (0.6)	0.8 (1.5)	0.0 (0.0)	0.3 (0.6)
	schwach	M (s)	0.0 (0.0)	0.7 (1.2)	0.1 (0.4)	0.3 (0.6)	1.1 (1.3)	1.4 (2.2)	0.4 (0.9)	1.4 (1.7)

#### 4.2 EXPERIMENT 3(A)

**Einzelaufgaben** In die folgende Analyse gingen die mittleren Rz beider Gruppen für die visuellen und auditiven Einzelaufgaben ein.

*Visueller Einzelaufgabenblock* Die mittleren Rz für stark intensive und schwach intensive Buchstaben gingen in separate Varianzanalysen mit dem Faktor Gruppe als Zwischengruppenfaktor ein. Die mittleren Rz für stark intensive Reize von Parkinsonpatienten ( $M = 600.5$  ms) und Kontrollpersonen ( $M = 574.6$  ms) unterschieden sich nicht,  $F(1,19) < 1$ . Gleiches galt für die mittleren Rz für schwach intensive Reize (Parkinsonpatienten,  $M = 662.3$  ms; Kontrollpersonen,  $M = 643.9$  ms),  $F(1,19) < 1$ .

*Auditiver Einzelaufgabenblock* Die mittleren Rz für auditive Einzelaufgaben von Parkinsonpatienten ( $M = 540.9$  ms) und Kontrollpersonen ( $M = 490$  ms) unterschieden sich nicht,  $F(1,20) = 2.23$ ,  $p = 0.1513$ .

#### 4.2.5 Diskussion der Ergebnisse von Experiment 3(a)

In Experiment 3(a) wurde die perzeptive Verarbeitung in der Doppelaufgabe von Parkinsonpatienten und gesunden älteren Personen gegenübergestellt. Zum einen sollte der Einfluß des Alters auf die parallele perzeptive Verarbeitung überprüft werden. Zum anderen bestand die Frage, ob eine Einschränkung der Basalganglienfunktion zusätzlich zum Alter zur Entstehung von perzeptiver Interferenz beiträgt.

Die Resultate von Experiment 3(a) zeigten,

1. daß die Ergebnisse der älteren Gruppe aus Experiment 1(a) in einer unabhängigen Gruppe älterer Personen (Kontrollgruppe) repliziert werden konnten. Der Einfluß des Alters auf die parallele perzeptive Verarbeitung wurde somit bestätigt.
2. daß sich Parkinsonpatienten und gesunde ältere Kontrollpersonen bezüglich der perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe nicht unterscheiden.

#### 4.2 EXPERIMENT 3(A)

Die Befunde von Experiment 3(a) weisen darauf hin, daß die parallele perzeptive Verarbeitung bei Parkinsonpatienten im selben Ausmaß wie bei altersparallelierten Kontrollpersonen durch Cross-Modale Interferenz gestört ist. Der Anstieg von Rz1 und Rz2 bei kurzem SOA und starker Intensität des visuellen Reizes, der als Indikator für Cross-Modale Interferenz angesehen werden kann, trat in der Parkinsongruppe zwar etwas akzentuierter auf (im Mittel 35 ms stärker in Rz2; 20 ms stärker in Rz1), war aber nicht signifikant gegenüber dem mittleren Anstieg in Rz1 und Rz2 der Kontrollgruppe erhöht. Wieder können Ressourcen-Interferenz, Flaschenhals-Interferenz und generelle Verlangsamung zur Erklärung dieser Befunde abgelehnt werden.

Es mag verwundern, daß die Parkinsonpatienten im Vergleich zur Kontrollgruppe weder in Rz1 noch in Rz2 eine signifikante Verlangsamung aufwiesen, obwohl motorische Verlangsamung als ein Hauptsymptom der Parkinson'schen Erkrankung gilt. Ein Grund für die fehlende statistische Signifikanz könnte die geringe Power aufgrund des kleinen Stichprobenumfanges sein. Dafür spricht, daß sich eine tendenzielle Verlangsamung der Parkinsonpatienten gegenüber den Kontrollpersonen abzeichnete. Ein weiterer Erklärungsansatz wird in Abschnitt 4.4.1 diskutiert.

Nach den Befunden von Experiment 3(a) muß davon ausgegangen werden, daß eine Einschränkung der Basalganglienfunktion bei Parkinsonpatienten nicht zur Störung der parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe beiträgt. Wenn diese Annahme richtig ist, sollten Parkinsonpatienten wie gesunde ältere Personen zur parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe fähig sein, wenn die Intensität des stark intensiven visuellen Reizes abgeschwächt ist.

Ob Parkinsonpatienten unter modifizierten Reizbedingungen zur parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Lage sind, wurde in Experiment 3(b) überprüft.

## 4.3 Experiment 3(b)

### 4.3.1 Fragestellung

In Experiment 3(b) wurde untersucht, ob Parkinsonpatienten wie gesunde ältere Personen zur parallelen perceptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe fähig sind, wenn die Intensität des stark intensiven Reizes abgeschwächt ist.

### 4.3.2 Methode

**Patientenstichprobe** Am Experiment nahmen 15 Patienten (davon sieben Frauen) gegen ein Entgelt teil. Die Rekrutierung der Patienten und die Feststellung des Schweregrades der Erkrankung waren identisch mit Experiment 3(a). Auch in Experiment 3(b) wurden nur Parkinsonpatienten untersucht, die sich mindestens im Erkrankungsstadium II nach Hoehn & Yahr (1967) befanden und freiwillig gegen ein Entgelt am Experiment teilnahmen.

Bei zwei Patienten mußte die Testung aufgrund von Dyskinesien (siehe 4.1) abgebrochen werden. Eine Patientin klagte über Hörprobleme, bei einer weiteren Patientin traten über 50% Fehler auf. Damit gingen die Datensätze von insgesamt elf Parkinsonpatienten in die Auswertung ein. Aufgrund der eingeschränkten Verfügbarkeit geeigneter Patienten nahmen fünf Patienten teil, mit denen bereits Experiment 3(a) durchgeführt wurde. Da beide Experimente im Abstand von mindestens 12 Wochen durchge-

#### 4.3 EXPERIMENT 3(B)

durchgeführt wurden, sind Testwiederholungseffekte unwahrscheinlich<sup>10</sup>. Die klinischen Daten der Patientengruppe sind in Tabelle 19 und Tabelle 20 dargestellt. Tabelle 19 zeigt, daß sich die klinischen Daten der Patienten aus Experiment 3(a) und 3(b) statistisch nicht unterscheiden. Alle Patienten wurden bei voller Wirksamkeit ihrer Medikamente (im ON-Stadium) untersucht.

**Tabelle 19.** *Klinische Daten der Parkinsonpatienten aus Experiment 3(a) und 3(b). M = Mittelwert; n = Anzahl; s = Standardabweichung; re = rechts; li = links; b = beidseits; Medikamente: L-Dopa-Präparate/Dopamin-agonisten/ Selegelin/ Amantadin; FWI = Farb-Wort-Interferenz Test; Mann-Whitney = nonparametrischer Test auf Gruppenunterschiede.*

	Experiment 3a		Experiment 3b		Mann-Whitney	
	M/n	(s)	M/n	(s)	U	p
Dauer der Erkrankung (Monate)	36	(32)	48	(32)	43.0	0.87
Hoehn & Yahr-Stadium	2.5	(0.8)	2.6	(0.6)	58.0	0.86
Lateralität der Symptome (re/li/b)	5/6/-	-	5/5/1	-	-	-
UPDRS-Subskala 3	30	(14)	35	(16)	54.5	0.69
UPDRS-Gesamtwert	49	(20)	54	(29)	60.0	0.97
Medikamente*	4/7/2/2	-	5/7/2/2	-	-	-
FWI (C- Wert)	4	(2.0)	4	(2.0)	54.5	0.69
Geriatric Depression Scale (GDS)	9	(4.0)	13	(5.0)	37.0	0.34
Mini Mental Status Test (MMST)	28	(2.0)	28	(2.0)	46.5	0.35

**Voruntersuchungen** Die neuropsychologische Eingangsuntersuchung war identisch mit Experiment 3(a). Keiner der Patienten wies Anzeichen einer dementiellen Entwicklung oder einer klinisch relevanten Depression auf. Vier der Patienten zeigten unterdurchschnittliche Ergebnisse im Farb-Wort-Interferenz-Test. Die individuellen Resultate sind in Tabelle 20 dargestellt.

<sup>10</sup> Auch eine Split Half – Analyse innerhalb der Versuchsblöcke erbrachte keine Hinweise auf Trainingseffekte.

#### 4.3 EXPERIMENT 3(B)

**Kontrollgruppe** Die demographischen Daten der Patientengruppe und der Kontrollgruppe sind auf der rechten Seite von Tabelle 15 (Abschnitt 4.2.2) dargestellt. Die Kontrollpersonen wurden aus der Datenbank des Max-Planck-Institutes für Neuropsychologische Forschung Leipzig rekrutiert und waren zur Patientienstichprobe in Alter, Geschlecht und höchstem Schulabschluß parallelisiert. Keiner der Kontrollprobanden berichtete neurologische Einschränkungen. Alle Kontrollpersonen wie auch die Parkinsonpatienten hatten eine normale oder auf einen Normalwert korrigierte Seh- und Hörleistung. Die Daten der neurologisch gesunden Kontrollgruppe wurden bereits separat in Experiment 1(b) berichtet.

**Versuchsdesign** Versuchsdesign und Versuchsablauf wie auch die Datenauswertung waren identisch zu Experiment 2(b). Die Leuchtintensität der visuellen Reize unter der einfachen Bedingung von Aufgabe 2 wurde wiederum von  $42.7 \text{ cd/m}^2$  in Experiment 3(a) auf  $9.6 \text{ cd/m}^2$  in Experiment 3(b) abgeschwächt.

4.3 EXPERIMENT 3(B)

**Tabelle 20.** Individuelle demographische, neuropsychologische und klinische Daten der Parkinsonpatienten aus Experiment 3(b). ID=Identifikationsnummer; w=weiblich, m=männlich; Dauer=Dauer der Erkrankung ab Auftreten der ersten Symptome; li=links, re=rechts, s=stammbetont; T=Tremordominanztyp, R=Akinese/Rigordominanztyp, A=Äquivalenztyp; MMST=Mini Mental Status Test; FWI=Farbe-Wort-Interferenz-Test (C-Wert); GDS=Geriatric Depression Scale; M=Mittelwert; s=Standardabweichung

ID	Alter	Bildung	Dauer	Seite	Typ	MMST	FWI	GDS	
	(Jahre) w/m	(Jahre)	(Monate)			+	++	+++	
6	51 w	10	61	re	A	30	6	6	
19	48 w	12	18	li	A	28	3	11	
51	53 w	10	24	re	R	29	7	12	
64	54 m	12	12	li	A	25	2	13	
71	55 m	8	95	re	R	26	2	17	
73	63 w	8	48	re	T	29	5	7	
85	57 m	10	11	li	A	27	0	8	
102	63 w	8	96	s	R	30	6	6	
106	56 m	8	16	re	A	27	5	12	
110	62 m	8	54	li	A	30	5	23	
116	62 m	8	59	li	T	30	6	23	
					5li/5re/1s	2T/3R/6A			
M	56.7	9.3	44.9			28.3	4.3	12.03	
(s)	(5.2)	(1.6)	(31.4)			(1.7)	(2.2)	(5.4)	

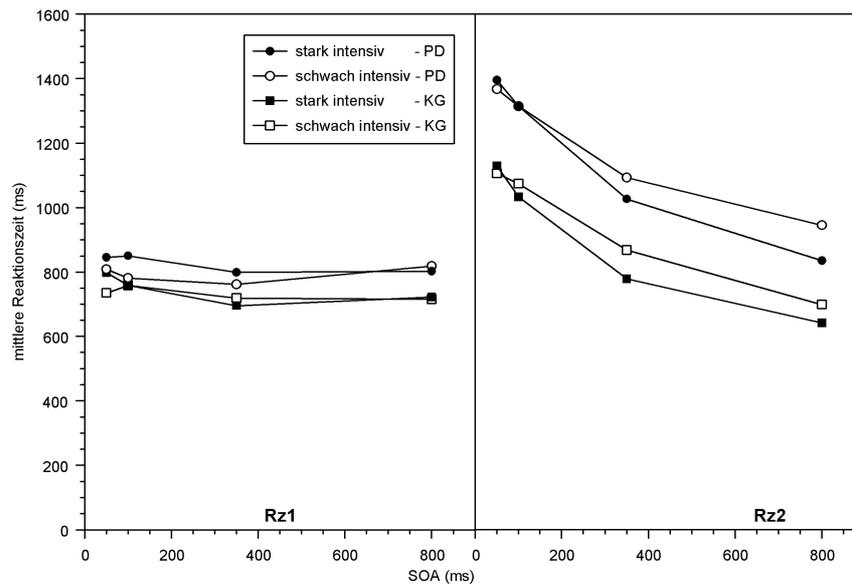
+ Ab einem Mittelwert von 24 besteht der Verdacht einer dementiellen Entwicklung.

++ C-Werte zwischen 4 bis einschließlich 6 liegen im Durchschnittsbereich. +++ Ab einem Wert von 23 besteht der Verdacht einer klinisch relevanten Depression.

#### 4.3 EXPERIMENT 3(B)

##### 4.3.3 Ergebnisse

**Reaktionszeitanalyse** Zunächst wurden die mittleren Rz der Doppelaufgabenbedingung für Aufgabe 2 und Aufgabe 1 analysiert.



**Abbildung 11.** Experiment 3(b). Mittlere Rz für die erste Reaktion (Rz1; links) und die zweite Reaktion (Rz2; rechts) in Abhängigkeit von Gruppe und SOA für die abgeschwächte stark intensive (einfach) und schwach intensive Bedingung (schwierig) von Aufgabe 2. PD = Parkinsongruppe; KG = Kontrollgruppe.

*Aufgabe 2* Wie in Experiment 3(a) wurde eine ANOVA mit den Faktoren SOA und Intensität des visuellen Reizes und dem Zwischengruppenfaktor Gruppe über die mittleren Rz2 gerechnet.

#### 4.3 EXPERIMENT 3(B)

Die Frage von Experiment 3(b) war, ob unter modifizierten Bedingungen auch bei Parkinsonpatienten der Reaktionszeitanstieg abnimmt, der perzeptive Interferenz anzeigt.

Abbildung 11 / rechts zeigt, daß dies der Fall war. Unter den modifizierten Bedingungen von Experiment 3(b) trat bei Parkinsonpatienten und Kontrollpersonen kein signifikanter Reaktionszeitanstieg in Rz2 bei kurzem SOA und starker Intensität des visuellen Reizes auf (Tabelle 21). Folglich war die Dreifachinteraktion zwischen Gruppe X SOA X Intensität nicht signifikant,  $F(3,60) < 1$ . Dies weist darauf hin, daß auch unter modifizierten Bedingungen kein Unterschied zwischen Parkinsonpatienten und gesunden älteren Personen bezüglich der perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe besteht.

Wie Abbildung 11 zeigt, haben die Rz2 Funktionen der Parkinsongruppe und der Kontrollgruppe große Ähnlichkeit mit der Rz2 Funktion, die für junge gesunde Personen beobachtet wurde. Die Varianzanalyse erbrachte signifikante Haupteffekte für SOA,  $F(3,60) = 169.33$ ,  $p < 0.001$ , und Intensität,  $F(1,20) = 10.76$ ,  $p = 0.004$ . Tabelle 21 zeigt, daß sich in beiden Gruppen die große Reaktionszeitdifferenz zwischen schwach und stark intensiven Reizen bei langem SOA, auf einen nicht signifikanten Wert unter kurzen SOA-Bedingungen verkleinerte. Folglich war auch die Wechselwirkung zwischen SOA und Intensität signifikant,  $F(3,60) = 8.23$ ,  $p < 0.001$ .

Das generelle Reaktionszeitniveau der beiden Gruppen unterschied sich auch in Experiment 3(b) nicht signifikant,  $F(1,20) = 1.11$ ,  $p = 0.304$ .

#### 4.3 EXPERIMENT 3(B)

**Tabelle 21.** Experiment 3(b). Mittlere Differenz der Rz für schwach- und stark intensive visuelle Reize (Aufgabe 2) und für Töne vor einem schwach- oder stark intensiven visuellen Reiz (Aufgabe 1) bei SOA 50 und SOA 800 für Parkinsonpatienten (PD) im Vergleich zu Kontrollpersonen (KG) unter modifizierten Bedingungen. n = Stichprobenumfang; M = Mittelwert; s = Standardabweichung

Versuchsgruppe	Mittlere RzDifferenz (ms)							
	Aufgabe 2				Aufgabe 1			
	SOA 50		SOA 800		SOA 50		SOA 800	
	M	(s)	M	(s)	M	(s)	M	(s)
PD-Patienten; n = 11	-27.9	(105.9)	109.9**	(76.2)	-36.8	(67.0)	15.6	(109.9)
KG; n = 11	-41.2	(91.9)	95.6**	(81.3)	-66.5	(122.8)	3.0	(42.5)

nach Bonferoni korrigierte Irrtumswahrscheinlichkeit bei einseitigem t-Test  $\alpha' = 0.05$  ( $\alpha' = \alpha / \text{Hypothesenanzahl}$ ) \* p < 0.05; \*\* p < 0.001

*Aufgabe 1* Die Varianzanalyse mit den Faktoren SOA, Intensität der visuellen Reize und Gruppe erbrachte einen signifikanten Haupteffekt des Faktors Intensität,  $F(1,20) = 10.6$ ,  $p = 0.004$ . Wie Abbildung 11 / links zeigt, trat die Erhöhung von Rz1 bei starker Intensität des visuellen Reizes nur bei kurzem SOA auf, was sich in einer signifikanten Wechselwirkung zwischen Intensität und SOA widerspiegelte,  $F(3,60) = 3.16$ ,  $p = 0.031$ . Im Vergleich zu Experiment 3(a) war der Reaktionszeitanstieg in Rz1 jedoch deutlich reduziert und erreichte weder in der Patientengruppe noch in der Kontrollgruppe Signifikanz (Tabelle 21). Es traten keine weiteren signifikanten Effekte auf.

**Fehleranalyse** Tabelle 22 zeigt die Fehlerprozentage in der ersten und zweiten Aufgabe in Abhängigkeit von SOA und der Intensität des visuellen Reizes.

*Aufgabe 2* Bezüglich der mittleren Fehlerprozentage in Aufgabe 2 zeigte die Varianzanalyse keine signifikanten Effekte.

*Aufgabe 1* Die mittleren Fehlerprozentage für beide Gruppen nahmen mit abnehmenden SOA zu,  $F(3,60) = 3.17$ ,  $p = 0.031$ . Sie waren besonders erhöht, wenn der Ton vor

#### 4.3 EXPERIMENT 3(B)

einem stark intensiven Reiz beantwortet werden mußte. Folglich wurde die Interaktion zwischen SOA X Intensität signifikant,  $F(3,60) = 2.78$ ,  $p = 0.049$ .

*Vertauschungsfehler* In der Patientengruppe traten vereinzelt Vertauschungsfehler auf. In der Kontrollgruppe wurden kaum Vertauschungsfehler beobachtet. Insgesamt sind die Prozente der Vertauschungsfehler auch in der Patientengruppe sehr gering (Tabelle 23; Anhang; A 1).

**Tabelle 22.** Experiment 3(b). Mittlere Fehlerprozente in Aufgabe 1 und Aufgabe 2 in Abhängigkeit von Gruppe, SOA und Schwierigkeitsmanipulation von Aufgabe 2. PD-Patienten = Parkinsonpatienten; KG = Kontrollgruppe; M = Mittelwert; s = Standardabweichung.

			SOA (ms)							
			Aufgabe 1				Aufgabe 2			
Intensität visueller Reiz			50	100	350	800	50	100	350	800
PD-Patienten	stark	M	2.7	3.0	1.0	1.0	2.5	3.5	1.4	1.4
		(s)	(4.2)	(4.4)	(1.7)	(2.5)	(3.8)	(4.4)	(2.0)	(2.4)
	schwach	M	1.6	1.0	1.1	0.9	2.8	1.9	2.3	3.5
		(s)	(2.8)	(2.1)	(2.3)	(2.5)	(3.0)	(2.4)	(2.7)	(3.7)
KG	stark	M	1.1	1.1	1.0	0.1	1.6	0.9	0.9	1.5
		(s)	(2.0)	(2.0)	(1.1)	(0.4)	(2.3)	(1.3)	(0.9)	(2.6)
	schwach	M	0.9	0,6	0.8	0.4	1.6	1.4	1.8	1.9
		(s)	(0.7)	(1.0)	(0.7)	(0.9)	(1.7)	(2.0)	(1.5)	(3.0)

**Einzelaufgaben** In die folgende Analyse gingen die mittleren Rz beider Gruppen für die visuellen und auditiven Einzelaufgaben ein.

*Visueller Einzelaufgabenblock* Die mittleren Rz für stark intensive und schwach intensive Buchstaben gingen in separate Varianzanalysen mit dem Faktor Gruppe als Zwischengruppenfaktor ein.

Die mittleren Rz für stark intensive Reize von Parkinsonpatienten ( $M = 559.5$  ms) und Kontrollpersonen ( $M = 547.9$  ms) unterschieden sich nicht,  $F(1,21) < 1$ . Gleiches galt

#### 4.3 EXPERIMENT 3(B)

für die mittleren Rz auf schwach intensive Reize (Parkinsonpatienten,  $M = 648.9$  ms; Kontrollpersonen,  $M = 606.9$  ms),  $F(1,21) < 1$ .

*Auditiver Einzelaufgabenblock* Die mittleren Rz auf die auditiven Einzelaufgaben von Parkinsonpatienten ( $M = 497.2$  ms) und Kontrollpersonen ( $M = 512.3$  ms) unterschieden sich nicht,  $F(1,21) < 1$ .

#### 4.3.4 Diskussion zu Experiment 3(b)

Die Frage von Experiment 3(b) war, ob eine Abschwächung der Intensität des stark intensiven visuellen Reizes auch bei Parkinsonpatienten dazu beitragen würde, die Cross-Modale Interferenz zu reduzieren, welche in Experiment 3(a) die parallele Verarbeitung von visuellen und auditiven Perzeptionsverarbeitungsstufen störte. Eine Reduktion Cross-Modaler Interferenz sollte bei Parkinsonpatienten wie bei Kontrollpersonen durch eine Verminderung des Reaktionszeitanstieges in Rz1 und Rz2 bei kurzem SOA und starker Intensität des visuellen Reizes angezeigt werden. Im Gegensatz dazu sollte dieser Reaktionszeitanstieg bei Parkinsonpatienten auch unter modifizierten Reizbedingungen nachweisbar sein, wenn eine Einschränkung der Basalganglienfunktion zusätzlich zum Alter zur Störung der parallelen perzeptiven Verarbeitung beiträgt.

Die Befunde von Experiment 3(b) zeigten keine Unterschiede zwischen Parkinsonpatienten und gesunden älteren Personen bezüglich der perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe. Wie bei älteren Personen nahm bei Parkinsonpatienten der Reaktionszeitanstieg in Rz1 und Rz2 unter modifizierten Reizbedingungen deutlich ab. Nach Abschwächung der Intensität des stark intensiven Reizes wurde in der Parkinsongruppe eine unteradditive Interaktion zwischen SOA und

#### 4.3 EXPERIMENT 3(B)

Intensität in Rz2 beobachtet, die vergleichbar zu den Ergebnissen der jungen gesunden Personen in Experiment 1(a) ist.

Ausgehend von diesen Befunden kann gefolgert werden, daß Parkinsonpatienten wie gesunde ältere Personen unter modifizierten Bedingungen zur parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe fähig sind. Es gibt keinen Hinweis darauf, daß eine Einschränkung der Basalganglienfunktion in Folge der Parkinson'schen Erkrankung zur Störung der parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe beiträgt.

## 4.4 Allgemeine Diskussion zu Unterschieden zwischen Parkinsonpatienten und gesunden älteren Personen

### 4.4.1 Parallele perzeptive Verarbeitung bei Parkinsonpatienten

In den Experimenten 3(a) und 3(b) wurde überprüft, ob eine Einschränkung der Basalganglienfunktion zur Störung der parallelen perzeptiven Verarbeitung durch Cross-Modale Interferenz beiträgt, und ob der Einfluß des Alters auf die parallele perzeptive Verarbeitung repliziert werden kann.

Bezüglich der perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe traten keine Unterschiede zwischen Parkinsonpatienten und Kontrollpersonen auf. In Experiment 3(a) wurde in beiden Gruppen bei kurzem SOA und starker Intensität ein Reaktionszeitanstieg in Rz1 und Rz2 beobachtet, der auf eine Störung der parallelen perzeptiven Verarbeitung durch Cross-Modale Interferenz hindeutet. Somit wurde der Einfluß des Alters auf die parallele perzeptive Verarbeitung repliziert.

Die Ergebnisse der Parkinsongruppe bei abgeschwächter Intensität des visuellen Reizes weisen darauf hin, daß Parkinsonpatienten wie gesunde ältere Personen prinzipiell zur parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe fähig sind.

Dieser Befund steht im Gegensatz zu den Ergebnissen der jungen SHT-Patienten, bei denen die parallele perzeptive Verarbeitung auch unter der modifizierten Bedingung durch Cross-Modale Interferenz gestört war. Es ist zu folgern, daß eine Einschränkung

## ALLGEMEINE DISKUSSION ZU PARKINSONPATIENTEN

der Basalganglienfunktion durch die Parkinson'sche Erkrankung im Unterschied zu traumatischen Gewebsläsionen nicht zur Störung der parallelen perzeptiven Verarbeitung durch Cross-Modale Interferenz beiträgt. Die Beeinträchtigung der parallelen perzeptiven Verarbeitung, die bei Parkinsonpatienten in Experiment 3(a) beobachtet wurde, ist auf den Einfluß des Faktors Alter zurückzuführen.

Ein überraschender Befund der Experimente 3(a) und 3(b) war, daß das Reaktionszeitniveau der Parkinsonpatienten nicht signifikant gegenüber den Reaktionszeiten der Kontrollpersonen erhöht war. Dies ist ungewöhnlich, da motorische Verlangsamung als ein Hauptsymptom der Parkinson'schen Erkrankung gilt. Im folgenden Abschnitt wird dieses Resultat diskutiert.

**Generelle Verlangsamung** In beiden Experimenten waren die Reaktionszeiten der Parkinsongruppe tendenziell, jedoch nicht signifikant gegenüber den Reaktionszeiten der Kontrollgruppe erhöht. Eine Erklärung für die fehlende statistische Signifikanz des Reaktionszeitunterschiedes zwischen den Gruppen könnte die geringe statistische Power aufgrund des kleinen Stichprobenumfanges sein.

Weiterhin muß in Betracht gezogen werden, daß in den Experimenten 3(a) und 3(b) nur seit langem medizierte Patienten in der Phase der vollen Wirksamkeit ihrer Medikamente („ON“) untersucht wurden. Das Ziel der medikamentösen Behandlung von Morbus Parkinson ist eine bestmögliche Kompensation des Dopaminmangels. Somit ist davon auszugehen, daß die Parkinsonpatienten zum Zeitpunkt der Experimente nicht unter akutem Dopaminmangel litten. Auch in anderen Studien, die Parkinsonpatienten im Stadium der vollen Wirksamkeit ihrer Medikamten untersuchten, traten keine signifikanten Reaktionszeitunterschiede zwischen Patientengruppe und Kontrollgruppe auf (Harrison, Goodrich, Kennard & Henderson, 1993; Zimmermann,

## ALLGEMEINE DISKUSSION ZU PARKINSONPATIENTEN

Sprengelmeyer, Fimm & Wallesch, 1992). Wenn Parkinsonpatienten dagegen im unmedikamentierten „OFF“ Zustand untersucht wurden, war in den meisten Studien ein dramatischer Reaktionszeitanstieg gegenüber dem medikamentierten „ON“ Stadium und im Vergleich zu gesunden älteren Personen zu beobachten (z.B. Girotti et al., 1986; Jordan, Sagar & Cooper, 1992; Pullman, Watts, Juncos & Sanes, 1990; Schubert et al., im Druck).

Wichtig für die Interpretation der aktuellen Befunde ist, daß der Reaktionszeitanstieg in Rz1 und Rz2 bei kurzem SOA und starker Intensität des visuellen Reizes bei Parkinsonpatienten nicht über eine generelle Verlangsamung erklärt werden kann.

Obwohl bezüglich der Hauptfragestellung der parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe keine Unterschiede zwischen Parkinsonpatienten und gesunden älteren Personen auftraten, ist nicht auszuschließen, daß sich die Doppelaufgabenverarbeitung von Parkinsonpatienten und Kontrollpersonen an einer anderen Verarbeitungsstufe unterscheidet. Ein Ergebnis, das darauf hinweisen könnte, ist die signifikante Interaktion zwischen SOA und Gruppe, die auf einen stärkeren PRP-Effekt bei Parkinsonpatienten im Vergleich zu neurologisch gesunden Personen hindeutet. Dieses Ergebnis wird im Folgenden diskutiert.

#### 4.4.2 Akzentuierter PRP-Effekt bei Parkinsonpatienten

Wie bereits in der Diskussion des akzentuierten PRP-Effektes der SHT-Patienten im Vergleich zu gesunden jungen Personen ausgeführt wurde (Abschnitt 3.4.2), kann ein stärkerer Anstieg von Rz2 bei kurzem SOA über erhöhte Interferenz an der motorischen Verarbeitungsstufe oder über eine Verlangsamung der Antwortauswahl von Aufgabe 1 erklärt werden.

Das interessante Ergebnis eines akzentuierten PRP-Effektes tritt nicht nur bei SHT-Patienten und Parkinsonpatienten auf, sondern ist auch als Alterseffekt aus einer Reihe von altersvergleichenden Doppelaufgabenstudien bekannt (Allen, Smith, Vires-Collins, & Sperry, 1998; Glass et al., 2000; Hartley & Little, 1999). Auch im aktuellen Experiment 1(a) wurde ein stärkerer PRP-Effekt bei älteren Probanden im Vergleich zu jungen Probanden beobachtet (Abschnitt 2.2.4). Bei der Diskussion des akzentuierten PRP-Effektes bei Parkinsonpatienten im Vergleich zur Kontrollgruppe muß somit berücksichtigt werden, daß gesunde ältere Personen selbst einen stärkeren PRP-Effekt als gesunde junge Personen aufweisen. Aus diesem Grund werden zunächst Befunde zu Ursachen einer altersbedingten Akzentuierung des PRP-Effektes dargestellt (Hartley & Little, 1999, Experimente 2 und 3).

In Doppelaufgabenexperimenten von Hartley und Little (1999) zur Untersuchung des PRP-Effektes bei älteren Personen wurde die Interferenz an der motorischen Verarbeitungsstufe reduziert (kein Zeitdruck; Variation der Antwortmodalitäten). Im Gegensatz zu Experimenten, in denen die motorische Interferenz nicht vermindert war, wiesen die älteren Probanden in den Experimenten 2 und 3 keinen stärkeren PRP-Effekt gegenüber den jungen Probanden auf. Die Autoren folgerten, daß die stärkere Ausprägung des PRP-Effektes in der älteren Gruppe eher auf erhöhte Inter-

ferenz bei der Sequenzierung von motorischen Reaktionen als auf eine altersbedingte Verlangsamung bei der Antwortauswahl von Aufgabe 1 zurückzuführen ist.

Bislang gibt es keine Studien, die den akzentuierten PRP-Effekt bei Parkinsonpatienten in ähnlich gezielter Art untersucht hätten, wie dies bei Hartley und Little (1999) für gesunde ältere Personen geschah. Es ist jedoch seit langem bekannt, daß die Sequenzierung motorischer Prozesse bei Parkinsonpatienten im Vergleich zu gesunden älteren Personen beeinträchtigt ist (Benecke, Rothwell, Dick, Day & Marsden, 1986; Schwab, Chafetz & Walker, 1954). Vor diesem Hintergrund könnte der akzentuierte PRP-Effekt bei Parkinsonpatienten wie bei gesunden älteren Personen durch Probleme bei der Sequenzierung interferierender motorischer Reaktionen erklärt werden. Die Akzentuierung des PRP-Effektes in der Parkinsongruppe wäre folglich als Hinweis darauf zu interpretieren, daß die Interferenz an der motorischen Verarbeitungsstufe bei Parkinsonpatienten im Vergleich zur Kontrollgruppe erhöht ist und eine Sequenzierung dieser interferierenden motorischen Prozesse noch schlechter erfolgen kann.

Die Annahme einer erhöhten motorischen Interferenz bei Parkinsonpatienten im Vergleich zu gesunden älteren Personen wird durch neuropathologische Befunde gestützt. In einigen Studien wurde gezeigt, daß die Bereiche des Striatums, die zur motorischen Verarbeitung beitragen (Putamen) und mit motorischen Arealen des Cortex (Supplementär motorische Areale) in Verbindung stehen, besonders früh und nachhaltig durch Dopaminmangel im Verlauf der Parkinson'schen Erkrankung geschädigt werden (Graybiel, Hirsch & Agid, 1990; Hornykiewicz, Pifl, Schingnitz & Kish, 1988; Kish, Shannak & Hornykiewicz, 1988)). Dies könnte in der Doppelaufgabensituation zu Einschränkungen bei der motorischen Verarbeitung der verschiedenen Aufgaben führen. Bevor erhöhte motorische Interferenz als Quelle eines stärkeren PRP-Effektes bei Parkinsonpatienten angenommen werden kann, müßte jedoch eine Verlangsamung der Antwortauswahl von Aufgabe 1 ausgeschlossen werden.

## ALLGEMEINE DISKUSSION ZU PARKINSONPATIENTEN

**Fazit** Zusammenfassend kann zur Lokalisation von Defiziten im Doppelaufgabenverarbeitungsprozeß bei Parkinsonpatienten folgendes ausgesagt werden:

1. Die parallele perzeptive Verarbeitung ist in ähnlichem Ausmaß eingeschränkt wie bei gesunden älteren Personen.
2. Zusätzlich könnte ein weiteres Defizit an der motorischen Verarbeitungsstufe lokalisiert sein. Diese Annahme müßte in weiteren Studien untersucht werden, die eine Differenzierung von motorischen Verarbeitungsdefizit und Verlangsamung der Antwortauswahl erlauben.



## **Kapitel 5**

### **Abschließende Diskussion**

Zentrale Frage der vorliegenden Arbeit war, an welcher Stelle im Doppelaufgabenverarbeitungsprozeß Defizite bei SHT-Patienten mit frontal akzentuierten Gewebsläsionen lokalisiert sein könnten.

Speziell wurde untersucht, ob SHT-Patienten bereits Einschränkungen an der perzeptiven Verarbeitungsstufe der Doppelaufgabe aufweisen. Die perzeptive Verarbeitungsstufe wurde untersucht, da die perzeptive Verarbeitung der verschiedenen Reize den Auftakt für alle weiteren Doppelaufgabenverarbeitungsprozesse darstellt. Defizite an der perzeptiven Verarbeitungsstufe sollten somit die gesamte Doppelaufgabenverarbeitung negativ beeinflussen und zur Entstehung von Doppelaufgabendefiziten beitragen.

Wenn die perzeptive Verarbeitung in der Doppelaufgabe bei SHT-Patienten nicht eingeschränkt wäre, sollte, wie bei jungen gesunden Personen, eine parallele perzeptive Verarbeitung nachweisbar sein (Pashler & Johnston, 1989).

## *ABSCHLIESSENDE DISKUSSION*

Die Untersuchung von paralleler perceptiver Verarbeitung bei SHT-Patienten war in die Untersuchung von gesunden älteren Personen und einer klinischen Kontrollgruppe von Parkinsonpatienten eingebettet.

Die Untersuchung älterer Personen diente der Anpassung des experimentalpsychologischen Untersuchungsansatzes an die Erfordernisse der neurologischen Patienten.

Anhand der Parkinsongruppe konnte der Einfluß einer Beeinträchtigung der Basalganglienfunktion auf die perzeptive Verarbeitung in der Doppelaufgabe aufgeklärt werden.

Die Befunde zur parallelen perceptiven Verarbeitung bei gesunden älteren Personen, Parkinsonpatienten und SHT-Patienten wurden in den entsprechenden Kapiteln dargestellt und ausführlich diskutiert. Im Folgenden werden thesenhaft die wichtigsten Schlußfolgerungen zum Einfluß von Alter, Einschränkung der Basalganglienfunktion und traumatischer Hirnschädigung auf die parallele perzeptive Verarbeitung in der Doppelaufgabe zusammengefaßt.

1. **Einfluß des Alters** Der Vergleich zwischen gesunden älteren und jungen Personen zeigte, daß die parallele perzeptive Verarbeitung in der Doppelaufgabe durch Alter eingeschränkt wird.
2. **Einfluß einer Beeinträchtigung der Basalganglienfunktion** Der Vergleich zwischen gesunden älteren Personen und Parkinsonpatienten zeigte, daß die parallele perzeptive Verarbeitung in der Doppelaufgabe durch eine Beeinträchtigung der Basalganglienfunktion nicht beeinflußt wird.

3. **Einfluß von traumatischer Hirnschädigung** Der Vergleich zwischen jungen gesunden Personen und jungen SHT-Patienten und die Gegenüberstellung mit den Resultaten der anderen Gruppen zeigte, daß die parallele perzeptive Verarbeitung in der Doppelaufgabe durch eine traumatische Hirnschädigung stark eingeschränkt wird.

**Lokalisation spezifischer Doppelaufgabendefizite** Es kann angenommen werden, daß bei SHT-Patienten ein Defizit an der perzeptiven Verarbeitungsstufe der Doppelaufgabe lokalisiert ist. Gesunde ältere Personen und Parkinsonpatienten sind anfälliger für eine Störung der parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe als gesunde junge Personen.

Ein unerwarteter Befund war, daß die Störung der parallelen perzeptiven Verarbeitung unter perzeptiv einfachen Bedingungen auftrat. Dies kann durch keine der klassischen Ansätze wie Ressourcen-Interferenz, Flaschenhals-Interferenz oder Generelle Verlangsamung erklärt werden. In Erweiterung dieser klassischen Ansätze wurde die Cross-Modale Interferenz Annahme (CMI-Annahme) entwickelt. Die CMI-Annahme, die einen Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit bildet, stellt einen neuen Ansatz zur Erklärung von Doppelaufgabeninterferenz dar.

Während die CMI-Annahme in den vorangegangenen Kapiteln zur Interpretation empirischer Befunde angewendet wurde, wird im Folgenden der theoretische Hintergrund der Annahme ausgebaut. In diesem Zusammenhang wird auf Implikationen, Entstehung und neuronale Grundlagen der Cross-Modalen Interferenz eingegangen.

**Implikationen der CMI-Annahme** Eine wichtige kognitionspsychologische Implikation der CMI-Annahme ist, daß die parallele perzeptive Verarbeitung verschiedener Reize in der Doppelaufgabe kognitive Kontrolle zu benötigen scheint. Ausgehend von den überzeugenden Befunden von Pashler (1984), Pashler und Johnston (1989), De Jong (1993) und Luck (1998) galt es bislang als klar, daß einfache perzeptive Prozesse der Detektion von Reizen verschiedener Reizmodalitäten in der Doppelaufgabe parallel verarbeitet werden. Unter der Voraussetzung, daß keine höheren Operationen wie z.B. Kategorisierung (DeJong, 1993) während der perzeptiven Verarbeitung gefordert sind, gehen die meisten Doppelaufgabenmodelle davon aus, daß Doppelaufgabeninterferenz erst nach der perzeptiven Verarbeitung der verschiedenen Reize auftritt. Im Rahmen der CMI-Annahme wird das Postulat einer uneingeschränkten parallelen perzeptiven Verarbeitung von Reizen verschiedener Reizmodalitäten in der Doppelaufgabe abgeschwächt und modifiziert. Parallele perzeptive Verarbeitung in der Doppelaufgabe ist nur dann möglich, wenn der Einfluß eines salienten, vorübergehend irrelevanten Reizes kontrolliert werden kann.

Um den theoretischen Hintergrund der CMI-Annahme zu verdeutlichen, können Annahmen zur visuellen Aufmerksamkeit und zur visuellen Suche integrativ mit den Mechanismen der Doppelaufgabenverarbeitung verknüpft werden. Es ist bekannt, daß saliente Reize, die einen starken lokalen Kontrast in einer grundlegenden Merkmalsdimension aufweisen (Yantis & Egeth, 1999) bevorzugt verarbeitet werden. Gleiches gilt für Reize mit abruptem Onset (z.B. Yantis & Jonides, 1984; Yantis & Hillstrom, 1994). Aus Untersuchungen zur visuellen Suche ist bekannt, daß Reize mit diesen Eigenschaften die Verarbeitung von Reizen der gleichen Modalität (visuell) stören können (z.B. Gellatly, Cole & Blurton, 1999; Kim & Cave, 1999; Miller, 1989, Theeuwes, 1991, 1994; Wolfe, 1994).

#### *ABSCHLIESSENDE DISKUSSION*

Während in der visuellen Suche der interferierende Einfluß attraktiver Reize innerhalb einer Modalität (der visuellen) untersucht wird, postuliert die CMI-Annahme, daß ähnliche Effekte auch zwischen Reizen verschiedener Modalitäten in der Doppelaufgabe auftreten können. Die Annahme, daß die Verarbeitung eines Reizes durch einen Reiz anderer Reizmodalität beeinflusst werden kann, wurde in einer Reihe von Studien unterstützt (Eimer & Schröger, 1998; für einen Überblick siehe Shimojo & Shams, 2001).

Es kann jedoch vermutet werden, daß das Phänomen der Cross-Modalen Interferenz in der Doppelaufgabensituation vermutlich nicht auf Reize verschiedener Reizmodalitäten beschränkt ist, sondern auch zwischen Reizen einer Modalität zu erwarten wäre, wenn der salientere Reiz kurzzeitig irrelevant für die Verarbeitung des anderen Reizes ist. Auch in diesem Fall müßte kognitive Kontrolle aufgewendet werden, um den Einfluß des salienteren Reizes zu kontrollieren, und eine parallele perzeptive Verarbeitung sicherzustellen.

Im nächsten Abschnitt werden Vermutungen darüber angestellt, welcher Mechanismus der Kontrolle der parallelen perzeptiven Verarbeitung zugrunde liegen könnte. Die Einschränkung dieses Mechanismus sollte gleichzeitig zur Entstehung von Cross-Modaler Interferenz beitragen.

**Wie entsteht Cross-Modale Interferenz?** Der Entstehung von Cross-Modaler Interferenz könnte sowohl eine mangelnde Exzitation des Verarbeitungskanales für den ersten Reiz, als auch fehlende Inhibition des zweiten Reizes zugrunde liegen (siehe Abschnitt 2.5.2). Auf welchem der beiden Mechanismen die Kontrolle der parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe basiert, ist eine empirische Frage, deren Beantwortung den Rahmen der vorliegenden Arbeit übersteigt.

#### *ABSCHLIESSENDE DISKUSSION*

In der CMI-Annahme wurde zunächst postuliert, daß der Entstehung von Cross-Modaler Interferenz die Einschränkung eines inhibitorischen Mechanismus zugrunde liegen könnte. Daher werden im Folgenden Überlegungen über die Funktion eines Inhibitionsmechanismus bei der Kontrolle der parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe angestellt.

Die Hauptfunktion eines Inhibitionsmechanismus könnte darin bestehen, die Aktivierung der verschiedenen Verarbeitungskanäle entsprechend der vorgegebenen Verarbeitungspriorität der Reize zu regulieren (siehe auch Stolfus, Hasher, Zacks, Ulivi & Goldstein, 1993). Dies ist notwendig, da in der Doppelaufgabensituation sowohl der auditive, als auch der visuelle Verarbeitungskanal aktiviert sein sollten, weil beide Kanäle für die Ausführung der Doppelaufgabe relevant sind (siehe Houghton & Tipper, 1994; im Gegensatz zu z.B. La Berge & Brown, 1989).

In der Instruktion der aktuellen Doppelaufgabenexperimente ist festgelegt, daß der auditive Reiz zuerst beantwortet werden muß. Unter diesen Umständen sollte der Inhibitionsmechanismus beispielsweise absichern, daß der auditive Verarbeitungskanal eine stärkere Aktivierung als der visuelle Kanal aufweist. Eine stärkere Aktivierung des auditiven Kanals muß auch dann gewährleistet sein, wenn die Aktivierung des visuellen Kanals durch externe Reizmerkmale, z.B. visuelle Salienz, erhöht ist. In diesem Fall könnte eine Inhibition der Aktivierung des visuellen Kanals die Balance zwischen der Aktivierung des auditiven und des visuellen Kanals regulieren.

Wenn der Inhibitionsmechanismus nicht intakt ist, wäre denkbar, daß eine stärkere Aktivierung des auditiven Kanals nicht gewährleistet werden kann, da die Aktivierung des visuellen Kanals bei hoher visueller Salienz die Aktivierung des auditiven Kanals übersteigt. Dies könnte dazu führen, daß die Verarbeitung des visuellen Reizes mit der Verarbeitung des Tones interferiert, und an der perzeptiven Verarbeitungsstufe der Doppelaufgabe Cross-Modale Interferenz entsteht.

Die Annahme, daß der Entstehung von Cross-Modaler Interferenz ein inhibitorisches Defizit zugrunde liegen könnte, wird durch die neuropathologischen Veränderungen bei SHT-Patienten unterstützt, die in besonders ausgeprägtem Maße Cross-Modale Interferenz aufwiesen.

**Neuronale Grundlagen der Cross-Modalen-Interferenz** Bei SHT-Patienten war die parallele perzeptive Verarbeitung in der Doppelaufgabe stärker durch Cross-Modale Interferenz eingeschränkt als bei gesunden älteren Personen und Parkinsonpatienten.

Es ist bekannt, daß diffuse und fokale Gewebsläsionen nach traumatischer Hirnschädigung zur Beeinträchtigung der Funktion des lateralen präfrontalen Cortex beitragen (z.B. Fontaine, Azouvi, Remy, Bussel & Samson, 1999). Eine Reihe von bildgebenden und klinischen Studien konnten zeigen, daß die Funktion des präfrontalen Cortex mit der Inhibition irrelevanter Reize bzw. Verarbeitungsprozessen in Verbindung steht (z.B. Jahansahi, Dirnberger, Fuller & Frith, 2000; Knight, Staines, Swick & Chao, 1999; Konishi et al., 1999). Die Schädigung des lateralen präfrontalen Cortex bei SHT-Patienten könnte somit zu einem ausgeprägten Inhibitionsdefizit beitragen. Dieses Inhibitionsdefizit könnte der Störung der parallelen perzeptiven Verarbeitung durch Cross-Modale Interferenz bei SHT-Patienten zugrunde liegen.

Nach diesen Überlegungen könnte eine Schädigung des präfrontalen Cortex zum Entstehen von Cross-Modaler Interferenz in der Doppelaufgabe beitragen. Eine genauere Lokalisation von Bereichen des präfrontalen Cortex, die an der Kontrolle der parallelen perzeptiven Verarbeitung beteiligt sind, kann aufgrund der diffusen neuronalen Schädigung der SHT-Patienten allerdings nicht erfolgen. Spezifischere Aussagen über die neuronale Lokalisation des Kontrollmechanismus zur Aufrechterhaltung der parallelen perzeptiven Verarbeitung könnten durch die Anwendung bildgebender

#### ABSCHLIESSENDE DISKUSSION

Verfahren oder durch die Untersuchung von Patienten mit umschriebenen fokalen Gewebsläsionen gewonnen werden.

*Warum weisen auch ältere Personen und Parkinsonpatienten Cross-Modale Interferenz auf?* Wenn eine Schädigung des präfrontalen Cortex den inhibitorischen Kontrollmechanismus zur Aufrechterhaltung der parallelen perzeptiven Verarbeitung beeinträchtigt und somit die neuronale Grundlage von Cross-Modaler Interferenz darstellt, wäre allerdings zu fragen, warum Cross-Modale Interferenz auch bei gesunden älteren Personen und Parkinsonpatienten beobachtet wird.

Aus geronto-psychologischer Sicht mag zunächst die relativ frühe Manifestation dieser Einschränkung gegenüber jungen gesunden Personen verwundern. In vielen Studien weisen ältere Versuchsgruppen einen Altersdurchschnitt von größer/ gleich 65 Jahren auf (Woodruff-Pak, 1997), während das Durchschnittsalter der neurologisch gesunden älteren Personen in der aktuellen Untersuchung bei nur 57 Jahren lag. Auch gravierende neurobiologische Veränderungen in Folge physiologischer Alterungsprozesse, wie z.B. Abnahme des allgemeinen Hirnvolumens, werden erst jenseits des 70sten Lebensjahres erwartet (Esri, 1994; Kemper, 1994).

Ein Erklärungsansatz für die vergleichbaren Effekte von jungen SHT-Patienten und relativ „jungen“ älteren Personen könnte sein, daß altersbedingte hirnorganische Veränderungen zuerst, und durchaus schon im 5. Lebensjahrzehnt, im Bereich des präfrontalen Cortex auftreten (Haug & Eggers, 1991; Raz, 1999; West, 1996). Dabei kommt es zunächst zu einer Reduktion des Dendritenbaumes. So rufen physiologische Alterungsprozesse eine dezentere Schädigung des präfrontalen Cortex und des damit verbundenen neuronalen Netzwerkes hervor, wie dies in weit stärkerem Maße bei jungen Personen nach traumatischer Hirnschädigung der Fall ist.

#### ABSCHLIESSENDE DISKUSSION

Da die untersuchten Parkinsonpatienten den gleichen Altersdurchschnitt wie die gesunden älteren Personen aufwiesen, sind auch hier altersbedingte Veränderungen im Bereich des präfrontalen Cortex zu erwarten, die neben spezifischen Beeinträchtigungen (z.B. Degeneration der Verbindungen zwischen Cortex und Basalganglien, Middleton & Strick, 2000) auftreten sollten.

Entsprechend des geringeren Ausmaßes der diffusen Schädigung bei Parkinsonpatienten und gesunden älteren Personen wäre zu erwarten, daß die Fähigkeit zur Kontrolle paralleler perzeptiver Verarbeitung zwar eingeschränkt, jedoch nicht gänzlich gestört ist. Nach einer Schädigung des präfrontalen Cortex und davon ausgehenden Projektionen durch fokale und diffuse Gewebsverletzungen bei SHT-Patienten sollte die parallele perzeptive Verarbeitung dagegen nicht oder nur sehr stark eingeschränkt kontrolliert werden können. Dies könnte erklären, warum das Phänomen der Cross-Modalen Interferenz bei älteren Personen, Parkinsonpatienten und SHT-Patienten beobachtet wurde, jedoch in unterschiedlichem Ausmaß auftrat.

Die Aussagen zum theoretischen Hintergrund der CMI-Annahme werden im Folgenden kurz zusammengefaßt.

1. *Kognitionspsychologische Implikation:* Die parallele perzeptive Verarbeitung in der Doppelaufgabe scheint kognitive Kontrolle zu erfordern. Sie kann nicht automatisch vorausgesetzt werden, wie dies in bisherigen Modellen geschah (z.B. Pashler, 1984).
2. *Entstehung Cross-Modaler Interferenz:* Der Störung der parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe durch Cross-Modale Interferenz könnte eine Einschränkung inhibitorischer Fähigkeiten zugrunde liegen. Die alternative Annahme, daß auch ein exzitatorisches Defizit zur Entstehung von Cross-Modaler Interferenz beitragen könnte, kann jedoch nicht ausgeschlossen werden.

## *ABSCHLIESSENDE DISKUSSION*

- 3. Neuronale Grundlage der Cross-Modalen Interferenz:* Die neuronale Grundlage von Cross-Modaler Interferenz könnte eine Beeinträchtigung der Funktion des präfrontalen Cortex sein. Das Auftreten Cross-Modaler Interferenz bei den verschiedenen Gruppen wäre dadurch zu erklären, daß sowohl traumatische Hirn-Hirnschädigung als auch physiologische Alterungsprozesse des Gehirnes zur Schädigung des präfrontalen Cortex beitragen.

## 6. Ausblick

In dieser Arbeit wurden die ersten Schritte auf dem Wege einer genaueren Aufklärung von Doppelaufgabendefiziten bei verschiedenen Personengruppen getan.

In den Befunden der Arbeit zeigt sich, daß die Symbiose von klinischer Fragestellung und experimentalpsychologischem Ansatz sowohl neue Perspektiven für die neuropsychologische als auch für die kognitionspsychologische Forschung eröffnen kann. Diese neuen Perspektiven lassen sich nicht nur aus den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit ableiten, sondern zeigen sich auch in den Fragen, welche von den aktuellen Untersuchungen aufgeworfen wurden.

Eine erste offene Frage ist, ob der Kontrolle der parallelen perzeptiven Verarbeitung in der Doppelaufgabe tatsächlich ein inhibitorischer Mechanismus zugrunde liegt, wie dies in der CMI-Annahme postuliert wurde. In weiteren Studien sollte der Kontrollmechanismus an der perzeptiven Verarbeitungsstufe der Doppelaufgabe spezifisch untersucht werden. Es wäre beispielsweise interessant, ob Cross-Modale Interferenz auch dann auftritt, wenn der zweite Reiz keine hohe perzeptive Salienz aufweist, jedoch auf andere Weise die Aufmerksamkeit auf sich lenkt (z.B. aversive Reize). Außerdem könnte untersucht werden, ob perzeptive Interferenz auch auftritt,

wenn der salientere Reiz vor dem weniger salienten Reiz beantwortet werden soll, bzw. per Instruktion die Antwortreihenfolge frei gestellt ist.

Eine zweite Frage bezieht sich auf die neuronale Lokalisation des Kontrollmechanismus zur Aufrechterhaltung der parallelen perzeptiven Verarbeitung. Die oben aufgestellte Annahme, daß der Mechanismus im präfrontalen Cortex implementiert sein könnte, sollte durch bildgebende Verfahren oder durch die Untersuchung von Patienten mit umschriebenen Läsionen spezifiziert werden.

Ein weiteres vielversprechendes Untersuchungsziel wäre es, den Ansatz der vorliegenden Arbeit zu erweitern, und eine Lokalisation erhöhter Interferenz bei Parkinsonpatienten, SHT-Patienten und gesunden älteren Personen an den Stufen der Antwortauswahl und Verarbeitung der motorischen Reaktion durchzuführen. Es wäre vorstellbar, daß an der Stufe der Antwortauswahl ein weiterer Kontrollmechanismus einsetzt, der sicherstellt, daß die zentrale Verarbeitung des vorrangig zu beantwortenden Reizes zuerst den Flaschenhals besetzt. Es kann davon ausgegangen werden, daß die Funktion des Kontrollmechanismus an der Stufe der Antwortauswahl vom Kontrollmechanismus zur Aufrechterhaltung der parallelen perzeptiven Verarbeitung unabhängig ist. Ein Hinweis darauf ist, daß die Probanden in den aktuellen Untersuchungen einerseits Cross-Modale Interferenz zeigten, andererseits jedoch die Reaktionen in der richtigen Reihenfolge ausführen konnten. Es könnte sein, daß die Reaktionsabgabe in der richtigen Reihenfolge bei den neurologischen Patienten nur möglich war, weil die Antwortreihenfolge über alle Blöcke hinweg konstant blieb. Die bei einzelnen Patienten auftretenden Vertauschungsfehler könnten ein Hinweis sein, daß auch der Mechanismus zur Kontrolle der Antwortreihenfolge im Vergleich zu gesunden Personen eingeschränkt ist. Alternativ könnte angenommen werden, daß der Kontrollmechanismus an der Stufe der Antwortauswahl bei Parkinsonpatienten und SHT-Patienten intakt ist. Eine Möglichkeit zur gezielten Untersuchung des Kontrollmechanismus an der Stufe der

#### *AUSBLICK*

Antwortauswahl wäre eine Variation der Reihenfolge, in denen die Reize in der Doppelaufgabe beantwortet werden müssen (DeJong, 1995).

Nicht nur zu Beginn sondern auch am Ende der Arbeit wird deutlich, daß durch eine Lokalisation von Defiziten im Doppelaufgabenverarbeitungsprozeß der Erkenntnisstand über die Natur von Doppelaufgabendefiziten bei verschiedenen Personengruppen systematisch erweitert werden kann. Die aktuellen Befunde ermutigen dazu, den Ansatz der Lokalisation spezifischer Einschränkungen im Doppelaufgabenprozeß in zukünftigen Studien weiter zu verfolgen.



*ANHANG*

**Anhang**

A<sub>1</sub>

**Tabelle 23.** Alle durchgeführten Experimente. Vertauschungsfehler in Abhängigkeit von Intensität des visuellen Reizes und SOA. SHT = Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma; PD = Parkinsonpatienten; KG = Kontrollgruppe

		Intensität visueller Reiz		SOA in ms			
				50	100	350	800
Experiment 1a	Ältere	stark	<i>M</i>	0.0	0.0	0.0	0.0
			<i>(s)</i>	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)
	Junge	schwach	<i>M</i>	0.0	0.0	0.1	0.0
			<i>(s)</i>	(0.0)	(0.0)	(0.4)	(0.0)
Experiment 1b	Ältere	stark	<i>M</i>	0.1	0.1	0.3	0.0
			<i>(s)</i>	(0.4)	(0.4)	(0.6)	(0.0)
	Junge	schwach	<i>M</i>	0.0	0.1	0.1	0.0
			<i>(s)</i>	(0.0)	(0.4)	(0.4)	(0.0)
Experiment 2a	SHT-Patienten	stark	<i>M</i>	0.2	0.0	0.0	0.0
			<i>(s)</i>	(0.5)	(0.0)	(0.0)	(0.0)
	KG	schwach	<i>M</i>	0.0	0.0	0.0	0.0
			<i>(s)</i>	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)
Experiment 2b	SHT-Patienten	stark	<i>M</i>	1.1	1.1	1.3	1.7
			<i>(s)</i>	(3.5)	(3.5)	(4.0)	(5.3)
	KG	schwach	<i>M</i>	1.4	1.8	1.3	1.1
			<i>(s)</i>	(3.9)	(5.7)	(3.5)	(3.1)
Experiment 2c	SHT-Patienten	stark	<i>M</i>	0.0	0.0	0.0	0.0
			<i>(s)</i>	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)
	KG	schwach	<i>M</i>	0.0	0.0	0.0	0.0
			<i>(s)</i>	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)

ANHANG

**Tabelle 23.** Fortsetzung.

Experiment 3a	PD-Patienten	stark	<i>M</i>	0.5	1.4	0.5	0.4
			<i>(s)</i>	(1.7)	(4.6)	(1.3)	(0.9)
	KG	schwach	<i>M</i>	1.0	0.9	0.5	0.6
			<i>(s)</i>	(3.4)	(2.5)	(1.7)	(2.1)
Experiment 3b	PD-Patienten	stark	<i>M</i>	0.0	0.0	0.0	0.0
			<i>(s)</i>	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)
	KG	schwach	<i>M</i>	0.1	0.0	0.0	0.0
			<i>(s)</i>	(0.4)	(0.0)	(0.0)	(0.0)
Experiment 1c	Ältere	stark	<i>M</i>	1.1	0.8	0.5	0.0
			<i>(s)</i>	(2.2)	(1.7)	(1.3)	(0.0)
	KG	schwach	<i>M</i>	0.4	0.1	0.0	0.1
			<i>(s)</i>	(0.9)	(0.4)	(0.0)	(0.4)
Experiment 1d	Junge	stark	<i>M</i>	0.0	0.0	0.0	0.0
			<i>(s)</i>	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)
	Ältere	schwach	<i>M</i>	0.0	0.0	0.0	0.0
			<i>(s)</i>	(0.0)	(0.0)	(0.0)	(0.0)
Experiment 1d	Junge	stark	<i>M</i>	0.3	0.0	0.0	0.0
			<i>(s)</i>	(0.9)	(0.0)	(0.0)	(0.0)
	Ältere	schwach	<i>M</i>	0.1	0.0	0.0	0.0
			<i>(s)</i>	(0.4)	(0.0)	(0.0)	(0.0)

A<sub>2</sub>

**Experiment 1(c)**

A<sub>2.1</sub> Fragestellung

In Experiment 1(c) sollte untersucht werden, ob der Reaktionszeitanstieg in Rz1 und Rz2, der bei älteren Probanden bei starker Intensität des visuellen Reizes und kurzem SOA beobachtet wurde, auf die Blendwirkung des stark intensiven visuellen Reizes zurückzuführen ist. Um die Blendwirkung des visuellen Reizes unter der perzeptiv einfachen Bedingung von Aufgabe 2 zu reduzieren, wurden in der perzeptiv einfachen Bedingung schwarze Buchstaben auf einem roten Quadrat präsentiert. In der perzeptiv schwierigen Bedingungen wiesen die Buchstaben einen stärker gesättigten Rotton als das rote Quadrat auf. Wenn unter diesen Bedingungen der Reaktionszeitanstieg in Rz1 und Rz2 bei älteren Probanden repliziert werden kann, würde dies darauf hinweisen, daß die perzeptive Interferenz unter perzeptiv einfachen Bedingungen bei älteren Personen nicht auf Blendung zurückzuführen ist.

A<sub>2.2</sub> Methode

Neun Versuchspersonen nahmen gegen ein Entgelt am Experiment teil. Tabelle 24 zeigt, daß sich Altersdurchschnitt und höchster Schulabschluß nicht signifikant vom Altersdurchschnitt und Schulbildung der älteren Probanden in Experiment 1(a) und 1(b) unterschieden.

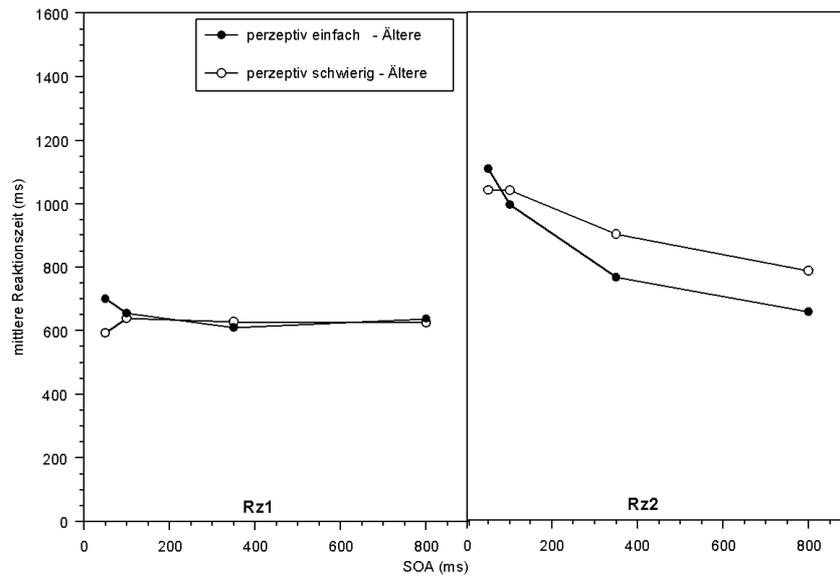
**Tabelle 24.** Demographische Daten der älteren Probanden der Experimente 1(a), 1(b) und 1(c). *M* = Mittelwert; *s* = Standardabweichung; *Geschlecht* = weiblich/ männlich; *Schulbildung* = höchster Schulabschluss; *Kruskal-Wallis* = nonparametrischer Test auf Gruppenunterschiede.

	Experiment 1a		Experiment 1b		Experiment 1c		Kruskal-Wallis	
	Ältere		Ältere		Ältere		$\chi^2$	<i>p</i>
	<i>M</i>	( <i>s</i> )	<i>M</i>	( <i>s</i> )	<i>M</i>	( <i>s</i> )		
Alter	56.5	(5.9)	57.6	(5.0)	57.4	(4.2)	0.05	0.97
Altersspanne	42-64	-	50-67	-	51-62	-	-	-
Geschlecht	8/4	-	6/5	-	5/4	-	-	-
Schulbildung	10.2	(1.6)	9.5	(1.6)	10.7	(1.7)	2.79	0.25

**Design.** Versuchsdesign und Versuchsablauf wie auch die Datenauswertung war identisch zu Experiment 1(a). Lediglich die perzeptiv einfache und perzeptiv schwierige Bedingung des visuellen Reizes (Aufgabe 2) wurde modifiziert. In der perzeptiv einfachen Bedingung wurden schwarze Buchstaben ( $0 \text{ cd/m}^2$ ) auf einem  $400 \times 400 \text{ mm}$  großen roten Quadrat ( $6.9 \text{ cd/m}^2$ ;  $x = 0.51$ ;  $y = 0.34$ ) dargeboten. Der Bildschirmhintergrund war grau ( $0.51 \text{ cd/m}^2$ ), um die visuelle Salienz des roten Quadrates abzumindern. In der schwierigen Bedingung von Aufgabe 2 wurden die Buchstaben in einem stärker gesättigten Rotton vor dem roten Quadrat präsentiert. Der Sättigungsgrad des Rottones für die perzeptiv schwierige Bedingung wurde vor dem Experiment individuell adaptiert. Wie in den vorangegangenen Experimenten umfaßte die Adaptationsperiode fünf Stufen, wobei der Sättigungsgrad des Rottones von Stufe 1 zu Stufe 5 abnahm, d.h. sich zunehmend dem Rotton des Quadrates annäherte (Stufe 1:  $4.88 \text{ cd/m}^2$ ,  $x = 0.62$ ,  $y = 0.34$ ; Stufe 2:  $5.1 \text{ cd/m}^2$ ;  $x = 0.6$ ,  $y = 0.34$ ; Stufe 3:  $5.25 \text{ cd/m}^2$ ,  $x = 0.59$ ,  $y = 0.34$ ; Stufe 4:  $5.62 \text{ cd/m}^2$ ,  $x = 0.56$ ;  $y = 0.34$ ; Stufe 5:  $5.89 \text{ cd/m}^2$ ,  $x = 0.54$ ,  $y = 0.34$ ). Die Lautstärke der auditiven Reize lag wie in den anderen Experimenten bei  $70 \text{ dB/spl}$ .

A<sub>2.3</sub> Ergebnisse

**Reaktionszeitanalyse** Zunächst wurden die mittleren Rz der Doppelaufgabenbedingung für Aufgabe 2 und Aufgabe 1 analysiert.



**Abbildung 12.** Experiment 1(c). Mittlere Rz für die erste Reaktion (Rz1; links) und die zweite Reaktion (Rz2; rechts) in Abhängigkeit von SOA und Manipulation der perzeptiven Schwierigkeit von Aufgabe 2 für eine Gruppe älterer Probanden.

*Aufgabe 2* Die mittleren Rz2 sind in Abbildung 12 / rechts dargestellt. Eine Varianzanalyse mit den Faktoren SOA und perzeptive Schwierigkeit des visuellen Reizes erbrachte signifikante Effekte für SOA,  $F(1,8) = 67.89$ ,  $p < 0.001$ , Schwierigkeit,  $F(3,24) = 65.46$ ,  $p < 0.001$ , und für die Interaktion beider Faktoren,  $F(3,24) = 20.1$ ,  $p < 0.001$ . Abbildung 12 und Tabelle 24 zeigen, daß bei langem SOA wie erwartet höhere Rz2 unter der perzeptiv schwierigen Bedingung im Vergleich zur perzeptiv einfachen

Bedingung von Aufgabe 2 auftraten. Bei kurzem SOA war jedoch der entgegengesetzte Effekt zu beobachten. Wie in Experiment 1(a) zeigten die älteren Probanden des Experimentes 1(d) bei kurzem SOA signifikant höhere Rz unter der perzeptiv einfachen Bedingung im Vergleich zur perzeptiv schwierigen Bedingung von Aufgabe 2. Dieses Ergebnis repliziert den Reaktionszeitanstieg, der für ältere Probanden bei starker Intensität des visuellen Reizes und kurzem SOA in Experiment 1(a) beobachtet wurde.

**Tabelle 25.** Experiment 1(c). Mittlere Differenz der Rz für perzeptiv schwierige- und einfache visuelle Reize (Aufgabe 2) und für Töne vor einem perzeptiv schwierigen - oder einfachen visuellen Reiz (Aufgabe 1) bei SOA 50 und SOA 800 für eine ältere Versuchsgruppe. n = Stichprobenumfang; M = Mittelwert; s = Standardabweichung

Versuchsgruppe	Mittlere RzDifferenz (ms)							
	Aufgabe 2				Aufgabe 1			
	SOA 50		SOA 800		SOA 50		SOA 800	
	M	(s)	M	(s)	M	(s)	M	(s)
Ältere; n = 9	-67.2*	(79.2)	128.7**	(49.9)	-106*	(99.6)	-13.2	(37.7)

nach Bonferoni korrigierte Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha' = 0.025$  ( $\alpha' = \alpha / \text{Hypothesenanzahl}$ )  
 $p < 0.025$ ; \*\*  $p < 0.001$

*Aufgabe 1* Die mittleren Rz1 sind in Abbildung 12 / links dargestellt. Abbildung 12 und Tabelle 25 zeigen, daß die mittleren Rz1 für Töne, die kurz vor einem perzeptiv einfachen visuellen Reiz dargeboten wurden, signifikant gegenüber Tönen vor einem perzeptiv schwierigen visuellen Reiz erhöht sind. Entsprechend zeigte die ANOVA signifikante Effekte für den Faktor Schwierigkeit,  $F(1,8) = 6.06$ ,  $p = 0.039$ , und für die Interaktion zwischen Schwierigkeit und SOA,  $F(3,24) = 5.11$ ,  $p = 0.007$ . Auch bezüglich der ersten Reaktion sind die Ergebnisse der älteren Probanden in Experiment 1(c) mit den Ergebnissen der älteren Gruppe aus Experiment 1(a) vergleichbar. Der Reaktionszeitanstieg in Rz 1 konnte repliziert werden.

*Aufgabe 1* Die mittleren Rz1 sind in Abbildung 12 / links dargestellt. Abbildung 12 und Tabelle 25 zeigen, daß die mittleren Rz1 für Töne, die kurz vor einem perzeptiv einfachen visuellen Reiz dargeboten wurden, signifikant gegenüber Tönen vor einem perzeptiv schwierigen visuellen Reiz erhöht sind. Entsprechend zeigte die ANOVA signifikante Effekte für den Faktor Schwierigkeit,  $F(1,8) = 6.06$ ,  $p = 0.039$ , und für die Interaktion zwischen Schwierigkeit und SOA,  $F(3,24) = 5.11$ ,  $p = 0.007$ . Auch bezüglich der ersten Reaktion sind die Ergebnisse der älteren Probanden in Experiment 1(c) mit den Ergebnissen der älteren Gruppe aus Experiment 1(a) vergleichbar. Der Reaktionszeitanstieg in Rz 1 konnte repliziert werden.

**Fehleranalyse.** Tabelle 26 zeigt die Fehlerprozente für Aufgabe 1 und Aufgabe 2 in Abhängigkeit von SOA und perzeptiver Schwierigkeit des visuellen Reizes.

*Aufgabe 2* Unter der perzeptiv schwierigen Bedingung von Aufgabe 2 traten mehr Fehler auf, als unter der perzeptiv einfachen Bedingung,  $F(1,8) = 16.5$ ,  $p = 0.004$ . Der Einfluß des Faktors Schwierigkeit wurde durch den Faktor SOA modifiziert,  $F(3,24) = 5.55$ ,  $p = 0.005$ .

*Aufgabe 1* Die ANOVA für die mittleren Fehlerprozente von Aufgabe 1 zeigte keine signifikanten Effekte.

Es traten keine Vertauschungsfehler auf (Tabelle 23; A<sub>1</sub>).

**Tabelle 26.** Experiment 1(c). Mittlere Fehlerprozente in Aufgabe 1 und Aufgabe 2 in Abhängigkeit von Alter, SOA und Schwierigkeitsmanipulation von Aufgabe 2; M = Mittelwert; s = Standardabweichung.

			SOA (ms)							
Intensität Visueller Reiz			Aufgabe 1				Aufgabe 2			
			50	100	350	800	50	100	350	800
Ältere	Stark	M	0.8	0.9	0.5	0.6	1.4	0.9	0.9	0.5
		(s)	(1.0)	(1.0)	(0.7)	(1.0)	(1.4)	(1.0)	(1.0)	(0.7)
	Schwach	M	0.6	0.2	0.0	0.5	3.7	5.3	3.1	6.9
		(s)	(1.0)	(0.5)	(0.0)	(1.0)	(2.9)	(3.9)	(2.6)	(4.3)

## ANHANG

Die Ergebnisse von Experiment 1(c) zeigen, daß unter der perzeptiv einfachen Bedingung und kurzem SOA ein Reaktionszeitanstieg in Rz1 und Rz2 bei älteren Personen auch dann auftritt, wenn die perzeptiv einfachen visuellen Reize keine starke Leuchtintensität aufweisen. Dies spricht gegen die Annahme, daß der Reaktionszeitanstieg, der bei älteren Probanden in Experiment 1(a) bei kurzem SOA und starker Intensität des visuellen Reizes beobachtet wurde, auf Blendung zurückzuführen ist.

In Experiment 1(c) trat perzeptive Interferenz auf, wenn ein schwarzer Reiz auf dem rotem Quadrat dargeboten wurde, d.h. einen großen lokalen Kontrast in einer Merkmalsdimension, und damit eine hohe visuelle Salienz aufwies. Wie in der CMI-Annahme prädiktiert, weisen die Befunde darauf hin, daß der hoch saliente visuelle Reiz mit dem Ton interferiert. Es kommt zur Entstehung von Cross-Modaler Interferenz.

### A<sub>3</sub>

#### **Experiment 1(d)**

##### A<sub>3.1</sub> Fragestellung

In Experiment 1(d) wurde die Frage untersucht, ob die parallele perzeptive Verarbeitung von Reizen verschiedener Reizmodalitäten bei gesunden jungen Personen durch Cross-Modale Interferenz gestört wird, wenn der stark intensive visuelle Reiz eine extrem starke Intensität aufweist.

##### A<sub>3.2</sub> Methode

Elf junge gesunde Probande nahmen gegen ein Entgelt am Experiment teil. Tabelle 27 zeigt, daß sie sich im Altersdurchschnitt und Schulbildung nicht von den jungen Probanden in Experiment 1(a) unterschieden.

**Tabelle 27.** Demographische Daten der jungen Probanden der Experimente 1(a) und 1(d). *M* = Mittelwert; *s* = Standardabweichung; *Geschlecht* = weiblich/ männlich; *Schulbildung* = höchster Schulabschluß; *Mann-Whitney* = nonparametrischer Test auf Gruppenunterschiede.

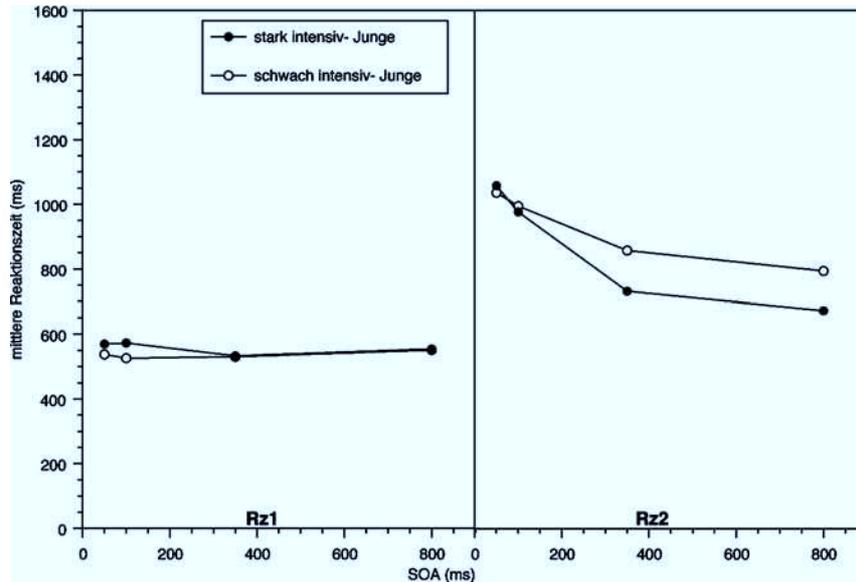
	Experiment 1 a		Experiment 1d		Mann-Whitney	
	Junge		Junge		<i>U</i>	<i>p</i>
	<i>M</i>	( <i>s</i> )	<i>M</i>	( <i>s</i> )		
Alter	23.0	(3.4)	24.8	(4.0)	45.0	0.31
Altersspanne	18-32	-	21-32	-	-	-
Geschlecht	9/3	-	5/5	-	-	-
Schulbildung	11.8	(0.6)	12.0	(0.0)	55.0	0.36

**Design.** Versuchsdesign, Versuchsablauf und Datenauswertung waren identisch zu Experiment 1(a). Die Leuchtintensität des stark intensiven visuellen Reizes wurde von 47.7 cd/m<sup>2</sup> in Experiment 1(a) auf 107 cd/m<sup>2</sup> in Experiment 1(d) erhöht. Außerdem wurde die Leuchtintensität des schwach intensiven visuellen Reizes nicht adaptiert. Stattdessen wurde der niedrigste Intensitätswert (0.04 cd/m<sup>2</sup>) aus der Adaptationsperiode von Experiment 1(a) benutzt.

### A<sub>3.3</sub> Ergebnisse

**Reaktionszeitanalyse** Die mittleren Rz der Doppelaufgabenbedingung wurden für Aufgabe 2 und Aufgabe 1 analysiert.

*Aufgabe 2* Die ANOVA mit den Faktoren SOA und Intensität des visuellen Reizes erbrachte signifikante Effekte für SOA,  $F(3,30) = 97.18$ ,  $p < 0.001$ , und Intensität,  $F(1,10) = 15.02$ ,  $p = 0.003$ . Abbildung 13 und Tabelle 28 zeigen, daß bei langem SOA die mittleren Rz für schwach intensive Reize die mittleren Rz für stark intensive Reize signifikant überstiegen. Bei kurzem SOA war diese Reaktionszeitdifferenz dagegen nicht zu beobachten. Folglich trat eine signifikante Interaktion zwischen SOA X Intensität auf,  $F(3,30) = 1.76$ ,  $p = 0.001$ .



**Abbildung 13.** Experiment 1(d). Mittlere Rz für die erste Reaktion (Rz1; links) und die zweite Reaktion (Rz2; rechts) in Abhängigkeit von SOA für die extrem stark intensive (einfach) und schwach intensive Bedingung von Aufgabe 2 für eine Gruppe junger gesunder Probanden.

Die Ergebnisse sind vergleichbar mit den Resultaten der jungen Probanden unter den weniger intensiven Reizbedingungen von Experiment 1(a). Sie weisen darauf hin, daß junge gesunde Personen auch bei extrem starker Intensität des visuellen Reizes zur parallelen Verarbeitung der auditiven und visuellen Perzeptionsstufen in der Lage sind.

**Tabelle 28.** Experiment 1(d). Mittlere Differenz der Rz für schwach intensive visuelle Reize - stark intensive visuelle Reize (Aufgabe 2) und für Töne vor einem schwach intensiven - oder stark intensiven visuellen Reiz (Aufgabe 1) bei SOA 50 und SOA 800 für die junge Versuchsgruppe. n = Stichprobenumfang; M = Mittelwert; s = Standardabweichung

Versuchsgruppe	Mittlere RzDifferenz (ms)							
	Aufgabe 2				Aufgabe 1			
	SOA 50		SOA 800		SOA 50		SOA 800	
	M	(s)	M	(s)	M	(s)	M	(s)
Junge; n = 11	-18.8	(71.3)	106.4**	(53.7)	-31.9	(61.6)	-2.9	(36.3)

nach Bonferoni korrigierte Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha' = 0.025$  ( $\alpha' = \alpha / \text{Hypothesenanzahl}$ )

\*  $p < 0.025$ ; \*\*  $p < 0.001$

*Aufgabe 1* Über die mittleren Rz1 wurde eine ANOVA mit den Faktoren SOA und Intensität gerechnet. Im Gegensatz zur jungen Gruppe in Experiment 1(a) zeigte sich ein signifikanter Effekt des Faktors Intensität,  $F(1,10) = 14.05$ ,  $p = 0.004$ . Dies reflektiert einen Anstieg der mittleren Rz1, wenn Töne vor einem stark intensiven Reiz dargeboten wurden. Abbildung 13 / links und zusätzliche t-Tests zeigen jedoch, daß dieser Anstieg nur bei einem der vier SOA's auftrat. Die Reaktionszeitdifferenz zwischen Tönen vor einem stark intensiven Reiz und Tönen vor einem schwach intensiven Reiz war nur bei SOA 100, ( $M = -46$  ms,  $t(1,10) = 2.3$ ,  $p = 0.045$ ), nicht aber beim SOA 50 (Tabelle 28) oder bei einem der anderen SOA's signifikant. Auch die entsprechende SOA X Intensität Interaktion,  $F(3,30) = 1.68$ ,  $p = 0.193$ , und der Faktor SOA,  $F(3,30) = 1.52$ ,  $p = 0.229$ , waren nicht signifikant.

**Fehleranalyse.** Tabelle 29 zeigt die Fehlerprozent für Aufgabe 1 und Aufgabe 2 in Abhängigkeit von SOA und Intensität des visuellen Reizes.

*Aufgabe 2* Es wurden mehr Fehler begangen, wenn der visuelle Reiz eine schwache Intensität aufwies,  $F(1,10) = 14.33$ ,  $p = 0.004$ . Darüberhinaus traten keine weiteren signifikanten Effekte auf.

*Aufgabe 1* Die Fehlerrate in Aufgabe 1 nahm mit abnehmenden SOA zu. Folglich erbrachte die Varianzanalyse einen signifikanten Effekt für SOA,  $F(3,30) = 3.37$ ,  $p = 0.031$ . Auch der Effekt des Faktors Intensität war signifikant, da die meisten Fehler begangen wurden, wenn der Ton vor einem stark intensiven Reiz präsentiert wurde,  $F(1,10) = 8.33$ ,  $p = 0.016$ . Dies war besonders bei kurzem SOA der Fall, was sich in einer signifikanten SOA X Intensität Interaktion niederschlug,  $F(3,30) = 4.23$ ,  $p = 0.013$ . Es traten kaum Vertauschungsfehler auf (Tabelle 23; A<sub>1</sub>).

**Tabelle 29.** Experiment 1(d). Mittlere Fehlerprozentage in Aufgabe 1 und Aufgabe 2 in Abhängigkeit von Alter, SOA und Schwierigkeitsmanipulation von Aufgabe 2. *M* = Mittelwert; *s* = Standardabweichung

			SOA (ms)							
			Aufgabe 1				Aufgabe 2			
Intensität	Visueller Reiz		50	100	350	800	50	100	350	800
Junge	Stark	<i>M</i>	1.64	0.88	0.25	0.13	1.52	0.4	0.6	0.7
		<i>(s)</i>	(1.5)	(1.12)	(0.56)	(0.42)	(1.91)	(0.6)	(0.9)	(0.9)
	Schwach	<i>M</i>	0.25	0.25	0.25	0.25	2.65	3.3	1.9	2.3
		<i>(s)</i>	(0.56)	(0.56)	(0.56)	(0.56)	(3.1)	(2.5)	(1.7)	(1.9)

In den Ergebnissen von Experiment 1(d) konnte bei jungen gesunden Personen wiederum eine unteradditive Interaktion zwischen SOA und Intensität in Rz2 repliziert werden. Es kann gefolgert werden, daß junge gesunde Personen auch bei extrem hoher Intensität des stark intensiven Reizes zur parallelen perzeptiven Verarbeitung von Reizen verschiedener Reizmodalitäten in der Doppelaufgabe fähig sind. Dabei kann nicht ausgeschlossen werden, daß bei noch extremeren Reizbedingungen auch bei jungen gesunden Personen Cross-Modale Interferenz auftreten könnte. Ein Hinweis darauf ist der leichte Anstieg von Rz1 und Rz2 bei kurzem SOA und starker Intensität des visuellen Reizes. Die Ergebnisse legen nahe, daß auch bei jungen gesunden Personen Kontrolle zur Aufrechterhaltung der parallelen perzeptiven Verarbeitung aufgebracht werden muß.



### Literaturverzeichnis

Alain, C., & Woods, D. L. (1999). Age-related changes in processing auditory stimuli during visual attention: Evidence for deficits in inhibitory control and sensory memory. *Psychology and Aging, 14*, 507-519.

Alexander, G. E., DeLong, M. R., & Strick, P. L. (1986). Parallel organization of functionally segregated circuits linking basal ganglia and cortex. *Annual Review of Neuroscience, 9*, 357-381.

Allen, P. A., Smith, A. F., Vires-Collins, H., & Sperry, S. (1998). The psychological refractory period: evidence for age differences in attentional time-sharing. *Psychology and Aging, 13*, 218-229.

Archeson, J. F., & Sanders, M. D. (1995). Vision. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry, 59*, 4-15.

Ashby F. G., & Townsend, J. T. (1980). Decomposing the reaction time distribution: Pure insertion and selective influence revisited. *Journal of Mathematical Psychology, 21*, 93-123.

Azouvi, P., Jokic, C., Van Der Linden, M., Marlier, N., & Bussel, B. (1996). Working memory and supervisory control after severe closed-head injury. A study of dual task performance and random generation. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 18*, 317-337.

LITERATUR

Baddeley, A. D. (1986). *Working Memory*. Oxford: Open University Press.

Baltes, P. B., & Lindenberger, U. (1997). Emergence of a powerful connection between sensory and cognitive functions across the adult life span: A new window to the study of cognitive aging. *Psychology and Aging, 12*, 1, 12- 21.

Beringer, J. (1995). *ERTS: Experimental Run Time System*. BeriSoft Cooperation.

Benecke, R., Rothwell, J. C., Dick, J. P. R., Day, B. L., & Marsden, C. D. (1986). Performance of simultaneous movements in patients with Parkinson's disease. *Brain, 109*, 739-757.

Bortz, J., Lienert, G. A., & Boehnke, K. (1990). *Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik*. Berlin, Heidelberg: Springer.

Broadbent, D. E., & Heron, A. (1962). Effects of a subsidiary task on performance involving immediate memory by younger and older men. *British Journal of Psychology, 53*, 189-198.

Brouwer, W. H., Ponds, R.W. H. M., Van Wolffelaar, P. C., & Van Zomeren, A. H. (1989). Divided attention 5 to 10 years after severe closed head injury. *Cortex, 25*, 219-230.

Brown, R.G., & Marsden, C. D. (1987). Neuropsychology and cognitive function in Parkinson's disease: An overview. In C. Marsden & S. Fahn (Hrsg.). *Movement disorders II* (S. 99-123). London: Butterworth.

LITERATUR

Brown, R.G., & Marsden, C. D. (1988). Internal versus external cues and the control of attention in Parkinson's disease. *Brain*, *111*, 323- 345.

Brown, R. G., & Marsden, C. D. (1991). Dual task performance and processing resources in normal subjects and patients with Parkinson's disease. *Brain*, *114*, 215-231.

Bublak, P., Schubert, T., Matthes-von Cramon, G., & von Cramon, D. Y. (2000). Differential demands on working memory for guiding a simple action sequence: evidence from closed-head-injured subject. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *22*, 176-189.

Burgess, P. W., Veitch, E., de Lacy Costello, A., & Shallice, T. (2000). The cognitive and neuroanatomical correlates of multitasking. *Neuropsychologia*, *38*, 848-863.

Cerella, J. (1985). Information processing rate in the elderly. *Psychological Bulletin*, *98*, 67-83.

Chao, L. L., & Knight, R. T. (1997). Prefrontal deficits in attention and inhibitory control with aging. *Cerebral Cortex*, *7*, 63- 69.

Chow, T. W., & Cummings, J. L. (1999). Frontal-subcortical circuits. In: B. L. Miller, & J. L. Cummings (Hrsg.), *The human frontal lobes: functions and disorders*. New York: Guilford Press.

Cicerone, K. D. (1996). Attention deficits and dual task demands after mild traumatic brain injury. *Brain Injury*, *10*, 79-89.

LITERATUR

Cools, A. R., van den Bercken, J. H. L., Horstink, M. W. I., van Spaendonck, K. P. M., & Berger, H. J. C. (1984). Cognitive and motor shifting aptitude disorder in Parkinson's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, *47*, 443-453.

Corso, J. F. (1971). Sensory processes and age effects in normal adults. *Journal of Gerontology*, *26*, 90-105.

Craik, F. I. (1965). The nature of the age decrement in performance on dichotic listening tasks. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *17*, 227-240.

Craik, F. I. M. (1977). Age differences in human memory. In J. E. Birren & D. W. Schaie (Hrsg.), *Handbook of the psychology of aging* (S. 384-420). New York: Van Nostrand Reinhold.

Craik, F. I. M., & Byrd, M. (1982). Aging and cognitive deficits: The role of attentional resources. In F. I. M. Craik & A. S. Trehub (Hrsg.), *Aging and cognitive processes*. New York: Plenum.

Crossley, M., & Hiscock, M. (1992). Age-related differences in concurrent-task performance of normal adults: evidence for a decline in processing resources. *Psychology and Aging*, *7*, 499-506.

Dalrymple-Alford, J. C., Kalders, A. S., Jones, R. D., & Watson, R. W. (1994). A central executive deficit in patients with Parkinson's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, *57*, 360-367.

LITERATUR

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

DeJong, R. (1995). The role of preparation in overlapping-task performance. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 48A, 2-25.

Dell'Acqua, R., Stablum, F., Galbiati, S., Spannocchi, G., & Cerri, C. (2000). Selective effect of closed-head injury on central resource allocation: evidence from dual-task performance. *Experimental Brain Research*, 136(3), 364-378.

Dempster, F. N., & Corkill, A. J. (1999). Individual differences in susceptibility to interference and general cognitive ability. *Acta Psychologica*, 101, 395-416.

Dubois, B., & Pillon, B. (1997). Cognitive deficits in Parkinson's disease. *Journal of Neurology*, 244, 2-8.

Eimer, M., & Schröger, E. (1998). ERP effects of intermodal attention and cross-modal links in spatial attention. *Psychophysiology*, 35, 313-327.

Esiri, M. (1994). Dementia and normal aging: Neuropathology. In F. A. Huppert, C. Brayne, & D. W. O'Connor (Hrsg.), *Dementia and normal aging*. Cambridge, England: Cambridge University press.

Evarts, E. V., Teräväinen, H., & Calne, D. B. (1981). Reaction time in Parkinson's disease. *Brain*, 104, 167-186.

LITERATUR

Fahn, S., Elton, R. L., & Members of the UPDRS Development Committee (1987). The Unified Parkinson's Disease Rating Scale (UPDRS). In: S. Fahn, C. D. Marsden, D. B. Calne, & M. Goldstein (Hrsg.), *Recent developments in Parkinson's disease. Vol. 2*, (S. 293- 304). Florham Park, NJ: Macmillan.

Ferraro, F. R. (1996). Cognitive slowing in closed-head injury. *Brain & Cognition*, 32, 429-440.

Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). „Mini-Mental-State“: A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*, 12, 189-198.

Fontaine, A., Azouvi, P., Remy, P., Bussel, B., & Samson, Y. (1999). Functional anatomy of neuropsychological deficits after severe traumatic brain injury. *Neurology*, 53, 1963-1968.

Fuster, J. M. (1989). *The prefrontal cortex: anatomy, physiology, and neuropsychology of the frontal lobe*. New York: Raven.

Gauntlett-Gilbert, J., & Brown, V. J. (1998). Reaction time deficits and Parkinson's disease. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 22, 865-881.

Gellatly, A., Cole, G., & Blurton, A. (1999). Do equiluminant object onsets capture visual attention? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25, 1609-1624.

## LITERATUR

Giorotti, F., Carella, F., Grassi, M. P., Soliveri, P., Marano, R., & Caraceni, T. (1986). Motor and cognitive performance of parkinsonian patients in the on and off phases of the disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 49, 657-660.

Glass, J. M., Schumacher, E. H., Lauber, E. J., Zurbriggen, E. L., Gmeindl, L., Kieras, D. E., & Meyer, D. E. (2000). Aging and the psychological refractory period: task-coordination strategies in young and old adults. *Psychology and Aging*, 15, 571- 595.

Gottsdanker, R. (1980). The ubiquitous role of preparation. In G. E. Stelmach & J. Requin (Hrsg.), *Tutorials in motor behavior* (S. 315-341). Amsterdam: North-Holland.

Graybiel, A. M., Hirsch, E. C., & Agid, Y. (1990). The nigrostriatal system in Parkinson's disease. *Advances in Neurology*, 53, 17-29.

Haber, D. (1994). *Health promotion and aging*. New York: Springer.

Hackley, S. A., Woldorff, M., & Hillyard, S. A. (1987). Combined used microreflexes and event-related potentials as measures of auditory selective attention. *Psychophysiology*, 24, 632-647.

Haegenstrom-Portnoy, G., Scheck, M. E., & Brabyn, J. A. (1999). Seeing in old age: vision function beyond acuity. *Optometry and Vision Science*, 76, 141-158.

Harrison, J., Goodrich, S., Henderson, L., & Kennard, C. (1993). The consequences of „frontal“ impairment for reaction times in Parkinson's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 56, 726-727.

LITERATUR

Hartley, A. A., & Little, D. M. (1999). Age-related differences and similarities in dual-task interference. *Journal of Experimental Psychology: General*, 128, 416-449.

Hasher, L., & Zacks, R. T. (1988). Working memory, comprehension, and aging: A review and a new view. In G. G. Bower (Hrg.), *The psychology of learning and motivation*. San Diego, CA: Academic Press.

Haug, H., & Eggers, R. (1991). Morphometry of the human cortex cerebri and corpus striatum during aging. *Neurobiology of Aging*, 12, 336-338.

Hess, R. F., Zihl, J., Pointer, S. J., & Schmid, C. (1990). The contrast sensitivity deficits in cases with cerebral lesions. *Clinical Vision Sciences*, 5, 203-215.

Hoehn M. M., & Yahr, M. D. (1967). Parkinsonism: onset, progression, and mortality. *Neurology*, 17, 427- 442.

Hornykiewicz, O., Pifl, C., Schingnitz, G., & Kish, S. J. (1988). The cause of Parkinson's disease: MPTP, ageing, and the striatal dopamine loss. In G. Nappi (Hrsg.), *Neurodegenerative disorder: the role played by endotoxins and xenobiotics*. New York: Raven Press.

Houghton, G., & Tipper, S. P. (1994). A model of inhibitory mechanisms in selective attention. In: D. Dagenbach, & T. H. Carr (Hrsg.), *Inhibitory processes in attention, memory and language*. San Diego, CA: Academic Press, Inc.

LITERATUR

Jahanshahi, M., Brown, R. M., & Marsden, C. D. (1992). The effect of withdrawal of dopaminergic medication in simple and choice reaction time and the use of advance information in Parkinson's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, *55*, 1168-1176.

Jahanshahi, M., Dirnberger, G., Fuller, R., & Frith, C. D. (2000). The role of the dorsolateral prefrontal cortex in random number generation: A study with positron emission tomography. *NeuroImage*, *12*, 713-725.

Jolicoeur, P., & Dell'Acqua, R. (1998). The demonstration of short-term consolidation. *Cognitive Psychology*, *36*, 138-202.

Jordan, N., Sagar, H., & Cooper, J. (1992). Cognitive components of reaction time in Parkinson's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, *55*, 658-664.

Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. New York: Prentice Hall.

Kaipio, M. L., Alho, K., Winkler, I., Escera, C., Surma-aho, O., & Näätänen, R. (1999). Event-related brain potentials reveal covert distractibility in closed head injury. *Neuroreport*, *10*, 2125-2129.

Kaipio, M. L., Cheour, M., Ceponiene, R., Öhman, J., Alku, P., & Näätänen, R. (2000). Increased distractibility in closed head injury as revealed by event-related potentials. *Neurophysiology*, *11*, 1463-1468.

LITERATUR

Kemper, T. L. (1994). Neuroanatomical and neuropathological changes during aging and in dementia. In: M. L. Albert & E. J. E. Knoepfel (Hrsg.), *Clinical neurology of aging*. New York: Oxford University Press.

Kim, M.-S., & Cave, K. R. (1999). Top-down and bottom-up attentional control: On the nature of interference from a salient distractor. *Perception and Psychophysics*, *61*, 1009-1023.

Kish, S. J., Shannak, K., Hornykiewicz, O. (1988). Uneven patterns of dopamine loss in the striatum of patients with Parkinson's disease-pathophysiologic and clinical implications. *New English Journal of Medicine*, *318*, 876-880.

Knight, R. T., Staines, W. R., Swick, D., & Chao, L. L. (1999). Prefrontal cortex regulates inhibition and excitation in distributed neural networks. *Acta Psychologica*, *101*, 159-178.

Konishi, S., Nakajima, K., Uchida, I., Kikyo, H., Kameyama, M., & Miyashita, Y. (1999). Common inhibitory mechanism in human inferior prefrontal cortex revealed by event-related functional MRI. *Brain*, *122*, 981-991.

Kramer, A. F., Hahn, S., Irwin, D. E., & Theeuwes, J. (1999). Attentional capture and aging: implications for visual search performance and oculomotor control. *Psychology and Aging*, *14*, 135-154.

LITERATUR

Kramer A. F., & Larish, J. (1996). Aging and dual task performance. In: W. R. Rogers, A. D. Fisk, & N. Walker (Hrsg.), *Aging and skilled performance*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Kramer, C., Hofman, W. F., Elton, M., & Kerkhof, G. A. (1996). The augmenting reducing paradigm studied with visually evoked potentials in normal aging. *Journal of Psychophysiology, 10*, 319-325.

LaBerge, D., & Brown, V. (1989). Theory of attentional operations in shape identification. *Psychological Review, 96*, 101-124.

Leclercq, M., Couillet, J., Azouvi, P., Marlier, N., Martin, Y., Strypstein, E., & Rousseaux, M. (2000). Dual task performance after severe diffuse traumatic brain injury or vascular prefrontal damage. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 22*, 339-350.

Levin, H., & Kraus, M. F. (1994). The frontal lobes and traumatic brain injury. *Journal of Neuropsychiatry, 6*, 443-454.

Levin, H., Mendelsohn, D. B., Lilly, M. A., Fletcher, J. M., Culhane, K. A., Chapman, S. B., Harward, H., Kusnerik, L., Bruce, D., & Eisenberg H. M. (1994). Tower of London performance in relation to magnetic resonance imaging following closed head injury in children. *Neuropsychology, 8*, 171-179.

Lindenberger, U., & Baltes, P. B. (1994). Sensory functioning and intelligence in old age: a strong connection. *Psychology and Aging, 9*, 339- 355.

LITERATUR

Lindenberger, U., Mariske, M., & Baltes, P. B. (2000). Memorizing while walking: increase in dual-task costs from young adulthood to old age. *Psychology and Aging, 15*, 417-436.

Luck, S. J. (1998). Sources of dual-task interference: evidence from human electrophysiology. *Psychological Science, 9*, 223-227.

Maddox, W. T., Filoteo, J. V., Delis, D. C., & Salmon, D. P. (1996). Visual selective attention deficits in patients with Parkinson's disease: A quantitative model-based approach. *Neuropsychology, 10*, 197- 218.

Malapani, C., Pillon, B., Dubois, B., & Agid, Y. (1994). Impaired simultaneous cognitive task performance in Parkinson's disease: a dopamine-related dysfunction. *Neurology, 44*, 319-326.

Matthes-von Cramon, G., & von Cramon, D. Y. (1999). Störungen exekutiver Funktionen. In: H. C. Hopf, G. Deuschl, H. C. Diener, & H. Reichmann (Hrsg.), *Neurologie in Praxis und Klinik*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.

Matthes-von Cramon, G., & von Cramon, D. Y. (2000). Störungen exekutiver Funktionen. In: W. Sturm, M. Herrmann, & C. W. Wallesch (Hrsg.), *Lehrbuch der Klinischen Neuropsychologie*. Lisse, NL: Swets & Zeitlinger Publishers.

May, C. P., Kane, M. J., & Hasher, L. (1995). Determinants of negative priming. *Psychological Bulletin, 118*, 34-54.

LITERATUR

McCann, R. S., & Johnston, J. C. (1992). Locus of the single-channel bottleneck in dual task interference. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *18*, 471-484.

McDowd, J. M., & Filion, D. L. (1992). Aging, selective attention, and inhibitory processes: a psychophysiological approach. *Psychology and Aging*, *7*, 65-71.

McDowd, J. M., Oseas-Kreger, D., & Filion, D. L. (1995). Inhibitory processes in cognition and aging. In F. Dempster & C. Brainerd (Hrsg.), *New Perspectives on Interference and Inhibition in Cognition* (S. 363-400). San Diego, CA: Academic Press.

McDowell, S., Whyte, J., & D'Esposito, M. (1997). Working memory impairments in traumatic brain injury: evidence from a dual-task paradigm. *Neuropsychologia*, *35*, 1341-1353.

Mecklinger, A., von Cramon, D. Y., Springer, A., & Matthes-von Cramon, G. (1999). Executive control functions in task switching: evidence from brain injured patients. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *21*, 606-619.

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

Middleton, F. A., & Strick, P. L. (2000). Basal ganglia output and cognition: evidence from anatomical, behavioral, and clinical studies. *Brain and Cognition*, *42*, 183-200.

LITERATUR

Miller, J. (1989). The control of attention by abrupt visual onsets and offsets. *Perception and Psychophysics*, 45, 567-571.

Navon, D., & Miller, J. (1987). Role of outcome conflict in dual-task interference. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 13, 435-448.

Neill, W. T., & Valdes, L. A. (1992). The persistence of negative priming: steady state of decay? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 18, 565-576.

Niemi, P., & Näätänen, R. (1981). Foreperiod and simple reaction time. *Psychological Bulletin*, 89, 133- 162.

Nightingale, S., Mitchell, K. W., & Howe, J. W. (1986). Visual evoked cortical potentials and pattern electroretinograms in Parkinson's disease and control subject. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 49, 1280- 1287.

Olinic, A., Ross, R. G., Young, D. A., & Freedman, R. (1997). Age diminishes performance on an antisaccade eye movement task. *Neurobiology of Aging*, 18, 483-489.

LITERATUR

Park, D. C., Smith, A. D., Dudley, W. N., & Lafronza, V. (1989). The effects of age and a divided attention task presented during encoding and retrieval on memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, *15*, 1185-1191.

Park, N. W., Moscovitch, M., & Robertson, I. H. (1999). Divided attention impairment after traumatic brain injury. *Neuropsychologia*, *37*, 1119-1133.

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

Pashler, H. (1989). Dissociations and dependencies between speed and accuracy: evidence for a two-component theory of divided attention in simple tasks. *Cognitive Psychology*, *21*, 469-514.

Pashler, H. (1994). Dual-task interference in simple tasks: data and theory. *Psychological Bulletin*, *116*, 220-224.

Pashler, H., & Johnston, J. C. (1989). Chronometric evidence for central postponement in temporally overlapping tasks. *Quarterly Journal of Experimental Psychology A, Human Experimental Psychology*, *41A*, 19-45.

Posner, M. I., Nissen, M. J., & Klein, R. M. (1976). Visual dominance: an information-processing account of its origins and significance. *Psychological Review*, *83*, 157- 171.

LITERATUR

Pullman, S. L., Watts, R. L., Juncos, J. L., & Sanes, J. N. (1990). Movement amplitude choice reaction time performance in Parkinson's disease may be independent of dopaminergic status. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 53, 279-283.

Raz, N. (2000). Aging of the brain and its impact on cognitive performance: integration of structural and functional findings. In F. I. M Craik & T. A. Salthouse (Hrsg.), *The handbook of aging and cognition*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Regan, D., & Neima, D. (1984). Low contrast letter charts in early diabetic retinopathy, ocular hypertension, glaucoma and Parkinson's disease. *British Journal of Ophthalmology*, 68, 885-889.

Richardson, J. T. E. (2000). *Clinical and neuropsychological aspects of closed head injury*. Philadelphia, PA: Psychology Press Ltd.

Robertson, C., Hazlewood, R., & Rawson, M. D. (1996). The effects of Parkinson's disease on the capacity to generate information randomly. *Neuropsychologia*, 34, 1069-1078.

Rubin, G. S., West, S. K., Munoz, B., Bandeenroche, K., Zeger, S., Schein, O., & Fried, L. P. (1997). A comprehensive assessment of visual impairment in a population of older americans- the see study. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 38, 557-568.

LITERATUR

Salthouse, T. A. (1985). Speed of behavior and its implications for cognition. In J. E. Birren & K. W. Schaie (Hrsg.), *Handbook of the psychology of aging* (pp. 400-426). New York: Van Nostrand Reinhold.

Salthouse, T. A. (1988). Resource-reduction interpretations of cognitive aging. *Developmental Review, 8*, 238-272.

Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review, 103*, 403-428.

Salthouse, T. A. , Rogan, D. J., & Prill, K. A. (1984). Division of attention: Age differences on a visually presented memory task. *Memory & Cognition, 12*, 613-620.

Schmitter-Edgecombe, M. E., Marks, W., Fahy, J. F., & Long, C. F. (1992). Effects of severe closed-head injury on three stages of information processing. *Journal of Clinical and Experimental Psychology, 14*, 717-737.

Schubert, T. (1996). Die Analyse von Interferenzeffekten bei der gleichzeitigen Bearbeitung zweier Aufgaben. *Zeitschrift für experimentelle Psychologie, 43*, 625-656.

Schubert, T. (1999). Processing differences between simple and choice reactions affect bottleneck localization in overlapping tasks. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 25*, 1-18.

LITERATUR

Schubert, T., Volkmann, J., Müller, U., Sturm, V., Voges, J., Freund, H.-J., & von Cramon, D. Y. (im Druck). The role of the posteroventrolateral Globus Pallidus internus in human sensorimotor behaviour. *Experimental Brain Research*.

Schwab, R. S., Chafetz, M. E., & Walker, S. (1954). Control of two simultaneous voluntary motor acts in normal and in Parkinsonism. *Archives of Neurology and Psychiatry*, 72, 591-598.

Schweickert, R. (1983). Latent network theory: Scheduling of processes in sentence verification and the Stroop effect. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 9, 353-379

Sharpe, M. H. (1990). Distractibility in early Parkinson's disease. *Cortex*, 26, 239- 246.

Sharpe, M. H. (1992). Auditory attention in early Parkinson's disease: An impairment in focused attention. *Neuropsychologia*, 30, 101- 106.

Shimojo, S., & Shams, L. (2001). Sensory modalities are not separate modalities: plasticity and interaction. *Current Opinion in Neurobiology*, 11, 505-509.

Shum, D. H. K., McFarland, K., Bain, J. D., & Humphreys, M. S. (1990). Effects of closed-head injury on attentional processes: An information-processing stage analysis. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 12, 247-264.

LITERATUR

Solbakk, A. K., Reinvang, I., Nielsen, C., & Sundet, K. (1999). ERP indicators of disturbed attention in mild closed head injury: a frontal lobe syndrome? *Psychophysiology*, *36*, 802-817.

Somberg, B. L., Salthouse, T. A. (1982). Divided attention abilities in young and old adults. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *8*, 651-663.

Sommer, W., Leuthold, H., & Schubert, T. (2001). Multiple bottlenecks in information processing? An electrophysiological examination. *Psychonomic Bulletin & Review*, *8*, 81-88.

Spikman, J. M., Deelman, B. G., & Van Zomeren, A. H. (2000). Executive functioning, attention and frontal lesions in patients with chronic CHI. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *22*, 325-338.

Spikman, J. M., Van Zomeren, A. H., & Deelman, B. G. (1996). Deficits of attention after closed-head injury: Slowness Only? *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *18*, 755-767.

Stablum, F., Leonardi, G., Mazzoldi, M., Umiltà, C., & Morra, S. (1994). Attention and control deficits following closed head injury. *Cortex*, *30*, 603-618.

Stablum, F., Mogentale, C., & Umiltà, C. (1996). Executive functioning following mild closed head injury. *Cortex*, *32*, 1-17.

LITERATUR

Stevens, S. S. (1969). On predicting exponents for cross-modality matches. *Perception & Psychophysics*, 6, 251-256.

Stoltzfus, E. R., Hasher, L., Zacks, R. T., Ulivi, M. S., & Goldstein, D. (1993). Investigations of inhibition and interference in younger and older adults. *Journal of Gerontology*, 48, 179-188.

Theeuwes, J. (1991). Exogenous and endogenous control of attention: The effect of visual onsets and offsets. *Perception & Psychophysics*, 49, 83-90.

Theeuwes, J. (1994). Endogenous and exogenous control of visual selection. *Perception*, 23, 429-440.

Townsend, J. T. (1984). Uncovering mental processes with factorial experiments. *Journal of Mathematical Psychology*, 28, 363-400.

Tsang, P. S., & Shaner, T. L. (1998). Age, attention, expertise, and time-sharing performance. *Psychology and Aging*, 13, 323- 347.

Tsang, P. S., Velazquez, V. L., & Vidulich, M. A. (1996). Viability of resource theories in explaining time-sharing performance. *Acta Psychologica*, 91, 175- 206.

Tsuchiya, H., Yamaguchi, S., & Kobayashi, S. (2000). Impaired novelty detection and frontal lobe dysfunction in Parkinson's disease. *Neuropsychologia*, 38, 645-654.

LITERATUR

Van Selst, M, & Jolicoeur, P. (1994). Can mental rotation occur before the dual-task bottleneck? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 905-921.

Vilkki, J., Virtanen, S., Surma-Aho, O., & Servo, A. (1996). Dual task performance after focal cerebral lesions and closed head injuries. *Neuropsychologia*, 34, 1051-1056.

Wagenaar, W. A. (1972). Generation of random sequences by human subjects: a critical survey of literature. *Psychological Bulletin*, 77, 65-72.

Welford, A. T. (1952). The „psychological refractory period“ and the timing of high speed performance. *British Journal of Psychology*, 43, 2-19.

Werheid, K., Hoppe, C., Thöne, A., Müller, U., & von Cramon, D. Y. (im Druck). The adaptive digit ordering test: clinical application, reliability and validity of a verbal working memory test. *Archives of Clinical Neuropsychology*.

West, R. L. (1996). An application of prefrontal cortex function theory to cognitive aging. *Psychological Bulletin*, 120, 272-292.

Whyte, J., Schuster, K., Polansky, M., Adams, J., & Coslett, H. B. (2000). Frequency and duration of inattentive behavior after traumatic brain injury: effects of distraction, task, and practice. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 6, 1-11.

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

LITERATUR

Willott, J. F. (1991). *Aging and the auditory system: anatomy, physiology, and psychophysics*. San Diego, CA: Singular.

Wilson, B. A., Aldermann, N., Burgess, P.W., Emslie, H., & Evans J. (1996). *Behavioral Assessment of the Dysexecutive Syndrom BADS*. Bury St. Edmunds: Thames Valley Test Company.

Wolfe, J. M. (1994). Guided Search 2.0: A revised model fo visual search. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1, 202-238.

Wolfram, H., & Wiczorek, V. (1986). Psychological test differentiation of neurotic and organically induced performance disorders. *Psychiatrie, Neurologie und Medizinische Psychologie*, 38, 647-655.

Woodruff-Pak, D. S. (1997). *The neuropsychology of aging*. Malden, MA, Oxford, UK: Blackwell Publishers Inc.

Wrightson, P., & Gronwall, D. (1999). *Mild head injury. A guide to management*. Oxford University Press, New York.

Yantis, S. (1993). Stimulus-driven attentional capture and attentional control settings. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 19, 676-681.

LITERATUR

Yantis, S., & Egeth, H. E. (1999). On the distinction between visual salience and stimulus-driven attentional capture. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25, 661-676.

Yantis, S., & Hillstrom, A. P. (1994). Stimulus-driven attentional capture: evidence for equiluminant visual objects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 95-107.

Yantis, S., & Jonides, J. (1984). Abrupt visual onsets and selective attention: evidence from visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10, 95-107.

Yesavage, J. A., Brink, T. L., Rose, T. L., Lum, O., Huang, V., Adey, M. B., & Leirer, V. O. (1983). Development and validation of a geriatric depression rating scale: A preliminary report. *Journal of Psychiatric Research*, 17, 37-49.

Zimmermann, P., Sprengelmeyer, R., Fimm, B., & Wallech, C.-W. (1992). Cognitive slowing in decision tasks in early and advanced Parkinson's disease. *Brain and Cognition*, 18, 60-69.

Zoccolotti, P., Matano, A., Deloche, G., Cantagallo, A., Passadori, A., Leclercq, M., Braga, L., Cremel, N., Pittau, P., Renom, M., Rousseaux, M., Truche, A., Fimm, B., & Zimmermann, P. (2000). Patterns of attentional impairment following closed head injury: A collaborative european study. *Cortex*, 36, 93-107.



## Wissenschaftlicher Werdegang der Verfasserin

Name: Grit Hein

geboren am: 23. Dezember 1974 in Rodewisch

Nationalität: Deutsch

### *Schulbildung:*

1983 - 1990 Polytechnische Oberschule, Rodewisch

1991 - 1993 Johann-Heinrich-Pestalozzi Gymnasium, Rodewisch; Abitur

### *Studium:*

10/ 1993 – 03/ 1999 Humboldt-Universität zu Berlin; Studium der Psychologie; Diplom  
Thema der Diplomarbeit: Gedächtniseffekte bei der Realisierung  
von Operationssequenzen

1997 The City College of New York of the City University of New York;  
Auslandsaufenthalt

### *Berufstätigkeit:*

04/ 1999 – 12/ 2001 Wissenschaftliche Mitarbeiterin im Projekt „Kognitive Störungen bei Morbus  
Parkinson“, Kooperation der Tagesklinik für kognitive Neurologie und des  
Max-Planck-Instituts für neuropsychologische Forschung Leipzig; Gefördert  
durch das Interdisziplinäre Zentrum für Klinische Forschung (IZKF) Leipzig;  
Dissertation

seit 02/ 2002 Wissenschaftliche Mitarbeiterin im Human Frontier Science Program  
„Neural basis of nonspatial visual attention: Objects, features and behaviour“,  
Medical Research Council, Cognition and Brain Sciences Unit, Cambridge (GB)

## **MPI Series in Cognitive Neuroscience**

- 1 Anja Hahne  
Charakteristika syntaktischer und semantischer Prozesse bei der auditiven Sprachverarbeitung: Evidenz aus ereigniskorrelierten Potentialstudien
- 2 Ricarda Schubotz  
Erinnern kurzer Zeitdauern: Behaviorale und neurophysiologische Korrelate einer Arbeitsgedächtnisfunktion
- 3 Volker Bosch  
Das Halten von Information im Arbeitsgedächtnis: Dissoziationen langsamer corticaler Potentiale
- 4 Jorge Jovicich  
An investigation of the use of Gradient- and Spin-Echo (GRASE) imaging for functional MRI of the human brain
- 5 Rosemary C. Dymond  
Spatial Specificity and Temporal Accuracy in Functional Magnetic Resonance Investigations
- 6 Stefan Zysset  
Eine experimentalpsychologische Studie zu Gedächtnisabrufprozessen unter Verwendung der funktionellen Magnetresonanztomographie
- 7 Ulrich Hartmann  
Ein mechanisches Finite-Elemente-Modell des menschlichen Kopfes

- 8 Bertram Opitz  
Funktionelle Neuroanatomie der Verarbeitung einfacher und komplexer akustischer Reize: Integration haemodynamischer und elektrophysiologischer Maße
- 9 Gisela Müller-Plath  
Formale Modellierung visueller Suchstrategien mit Anwendungen bei der Lokalisation von Hirnfunktionen und in der Diagnostik von Aufmerksamkeitsstörungen
- 10 Thomas Jacobsen  
Characteristics of processing morphological structural and inherent case in language comprehension
- 11 Stefan Kölsch  
Brain and Music  
A contribution to the investigation of central auditory processing with a new electrophysiological approach
- 12 Stefan Frisch  
Verb-Argument-Struktur, Kasus und thematische Interpretation beim Sprachverstehen
- 13 Markus Ullsperger  
The role of retrieval inhibition in directed forgetting – an event-related brain potential analysis
- 14 Martin Koch  
Measurement of the Self-Diffusion Tensor of Water in the Human Brain
- 15 Axel Hutt  
Methoden zur Untersuchung der Dynamik raumzeitlicher Signale

- 16 Frithjof Kruggel  
Detektion und Quantifizierung von Hirnaktivität mit der funktionellen  
Magnetresonanztomographie
- 17 Anja Dove  
Lokalisierung an internen Kontrollprozessen beteiligter Hirngebiete mithilfe des  
Aufgabenwechselfaradigmas und der ereigniskorrelierten funktionellen  
Magnetresonanztomographie
- 18 Karsten Steinhauer  
Hirnhysiologische Korrelate prosodischer Satzverarbeitung bei gesprochener  
und geschriebener Sprache
- 19 Silke Urban  
Verbinformationen im Satzverstehen
- 20 Katja Werheid  
Implizites Sequenzlernen bei Morbus Parkinson
- 21 Doreen Nessler  
Is it Memory or Illusion? Electrophysiological Characteristics of True and  
False Recognition
- 22 Christoph Herrmann  
Die Bedeutung von 40-Hz-Oszillationen für kognitive Prozesse

23 Christian Fiebach

Working Memory and Syntax during Sentence Processing.  
A neurocognitive investigation with event-related brain potentials and  
functional magnetic resonance imaging

24 Grit Hein

Lokalisation von Doppelaufgabendefiziten bei gesunden älteren Personen und  
neurologischen Patienten