

Aus der Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und Psychotherapie der  
Ludwig-Maximilians-Universität München  
Direktor: Prof. Dr. Hans-Jürgen Möller

# **Neurofunktionelle Grundlagen der Steuerung episodisch-assoziativer Gedächtnisfunktionen und ihre Veränderung im Altersverlauf**

Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Humanbiologie  
an der Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Franziska Maria Meister

aus München

2007

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. Rolf Engel

Mitberichterstatter: Prof. Dr. A. Danek

Prof. Dr. M. M. Weber

Mitbetreuung durch den  
promovierten Mitarbeiter: Dr. Kristina Fast

Dekan: Prof. Dr. med. D. Reinhardt

Tag der mündlichen Prüfung: 12.11.2007



## **Danksagung**

Mein Dank gilt Prof. Dr. Rolf Engel, der mir die Durchführung der Dissertation ermöglichte und mir stets mit Rat und Unterstützung zur Seite stand. Besonders bedanken möchte ich mich bei Dr. Kristina Fast für ihre engagierte fachliche Betreuung, ihren Beistand und ihre Förderung, die oft über den Rahmen der Dissertation hinausging.

Unseren Kooperationspartnern vom Institut für Klinische Radiologie Dr. Christine Born und Dr. Thomas Meindl sowie Lisa Krenn und Ute Coates danke ich für die Unterstützung bei den MRT-Messungen.

Des Weiteren danke ich meinen Kolleginnen aus der Abteilung für Klinische Psychologie und Psychophysiologie, vor allem Dr. Christine Amrhein, Anna Beraldi und Klaudia Janjić für viele beantwortete Fragen und gemeinsame Mittagspausen. Marion Streichsbier danke ich für das Korrekturlesen der Arbeit, Eva Etschel und Petra Michl für ihre Aufmunterungen und Hilfestellungen beim Formatieren. Florian Ewald möchte ich danken für seine Geduld, seine Zuversicht und sein Vertrauen in mich.

Und vor allem danke ich ganz herzlich meinen Eltern.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Danksagung</b> .....	<b>4</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>5</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>9</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>10</b>
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>11</b>
I. Theorie.....	13
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>13</b>
<b>2. Inhibition</b> .....	<b>15</b>
2.1 Begriffsdefinition .....	15
2.2 Neuronale Korrelate der kognitiven Inhibition .....	18
2.3 Generelle Funktionen des präfrontalen Cortex .....	19
2.4 Kognitive Korrelate der Inhibitionsfähigkeit .....	21
2.5 Kognitive Inhibition und Psychopathologie.....	21
<b>3. Episodisches Gedächtnis</b> .....	<b>23</b>
3.1 Begriffsdefinition .....	23
3.2 Neuronale Korrelate des episodischen Gedächtnisses .....	24
3.3 Das hippocampale System – Hinweise für ein präfrontal-limbisches Netzwerk .....	28
3.4 Modellannahmen zum episodischen Gedächtnis: HIPER- und HERA-Modell.....	29
<b>4. Der Altersprozess</b> .....	<b>31</b>
4.1 Kontrollprozesse im Altersverlauf .....	33
4.2 Hypothese des frontalen Alterns .....	34
4.3 Alter und episodisches Gedächtnis .....	34
4.4 Alter und kognitive Kontrolle .....	36
<b>5. Die Originalstudie</b> .....	<b>39</b>
5.1 Ergebnisse der Originalstudie .....	39
5.2 Rezeption und Replikation .....	41
<b>6. Schlussfolgerungen und Hypothesen für die eigene Arbeit</b> .....	<b>42</b>

II. Methoden.....	45
<b>1. Stichprobenbeschreibung .....</b>	<b>45</b>
<b>2. Untersuchungsverfahren .....</b>	<b>47</b>
2.1 Fragebögen.....	49
2.1.1 Diagnostisches Interview .....	49
2.1.2 Angstfragebogen .....	49
2.1.3 Kontrollfragebogen zur subjektiven Suppressionseinschätzung.....	50
2.2 Neuropsychologische Verfahren .....	51
2.2.1 Gedächtnisaufgaben zum Ausschluss von Defiziten bei den älteren Teilnehmern	51
2.2.2 Allgemeines Intelligenzniveau .....	53
2.2.3 Exekutiv- (und frontallirnassoziierte) Funktionen .....	54
2.2.4 Visumotorische Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit, Aufmerksamkeitsleistungen und Arbeitsgedächtnis .....	58
2.3 Erstellung des experimentellen Paradigmas.....	60
2.3.1 Material .....	60
2.3.2 Das <i>think/no-think</i> Paradigma .....	65
2.4 Funktionelle Magnetresonanztomographie .....	68
2.4.1 Methode MRT .....	68
2.4.2 Datenakquisition.....	69
<b>3. Untersuchungsablauf .....</b>	<b>70</b>
<b>4. Statistische Auswertung.....</b>	<b>71</b>
4.1 Auswertung der Verhaltensdaten .....	71
4.2 Auswertung der fMRT-Daten .....	72
III. Ergebnisse.....	75
<b>1. Ergebnisse aus den Fragebögen und den neuropsychologischen Verfahren.....</b>	<b>75</b>
1.1 Ergebnisse des Angstfragebogens.....	75
1.2 Ergebnisse der neuropsychologischen Testbatterie.....	76
1.2.1 Exekutivfunktionen .....	76
1.2.2 Geschwindigkeitsbezogene Aufgaben generell .....	79
1.2.3 Weitere Testergebnisse mit signifikanten Gruppenunterschieden .....	80

1.2.4 Ergebnisse des emotionalen Stroop Paradigmas .....	82
<b>2. Ergebnisse des <i>think/no-think</i> Paradigmas .....</b>	<b>85</b>
2.1 Behaviorale Ergebnisse aus dem experimentellen Paradigma .....	85
2.2 Ergebnisse aus dem Kontrollfragebogen zur subjektiven Suppressionseinschätzung ....	89
2.3 Ergebnisse der fMRT-Untersuchung .....	91
2.3.1 fMRT-Ergebnisse der jüngeren Probanden.....	91
2.3.2 fMRT-Ergebnisse der älteren Probanden.....	94
2.3.3 fMRT-Ergebnisse der älteren Probanden mit höherem kognitiven Funktionsniveau .....	98
2.3.4 fMRT-Ergebnisse der älteren Probanden mit niedrigerem kognitiven Funktionsniveau .....	102
 IV. Diskussion .....	 103
<b>1. Hypothesengeleitete Diskussion der neuropsychologischen Daten.....</b>	<b>104</b>
1.1 Verfahren zur Stichprobenbeschreibung.....	104
1.2 Verfahren zur Erfassung der frontalloziierten Funktionen und geschwindigkeitsbezogene Aufgaben .....	105
<b>2. Hypothesengeleitete Diskussion der Verhaltensdaten im <i>think/no-think</i> Paradigma</b>	<b>107</b>
2.1 Gruppenvergleich der Verhaltensdaten.....	107
2.2 Verhaltensdaten der jüngeren Probanden.....	108
2.3 Verhaltensdaten der älteren Probanden.....	109
<b>3. Hypothesengeleitete Diskussion der fMRT-Daten im <i>think/no-think</i> Paradigma.....</b>	<b>111</b>
3.1 Gruppenvergleich der fMRT-Daten .....	112
3.2 Daten der jüngeren Gruppe im Vergleich zur Originalstudie .....	113
3.3 Interpretation der fMRT-Daten der älteren Probanden .....	117
<b>4. Zusammenfassende Bewertung und Ausblick.....</b>	<b>120</b>
4.1 Kritische Würdigung der Arbeit.....	120
4.2 Bewertung der Ergebnisse.....	122
4.3 Allgemeine Bewertung der Aussagekraft der vorliegenden Daten über die Fragestellung hinausgehend .....	127
4.4 Ausblick .....	129

---

V. Literatur.....	131
VI. Anhänge.....	141
<b>Anhang A: Tabellen und Formeln.....</b>	<b>141</b>
<b>Anhang B: Selbst erstellte Verfahren.....</b>	<b>146</b>
<b>Anhang C: Material zur Probandenrekrutierung .....</b>	<b>150</b>
<b>Anhang D: Information und Einverständniserklärung.....</b>	<b>153</b>
<b>Curriculum Vitae .....</b>	<b>155</b>



## Abkürzungsverzeichnis

<b>p</b>	Signifikanzniveau	
	T	Trend mit $p < 0,1$
	*	signifikant mit $p < 0,05$
	**	signifikant mit $p < 0,01$
	***	hoch signifikant mit $p < 0,001$
<b>M</b>	Mittelwert	
<b>SD</b>	Standardabweichung, Streuung	
<b>t</b>	t-Wert	(t-Test für Gruppenmittelwertsunterschiede)
$\chi^2$	Chi-Quadrat nach Pearson	
<b>F</b>	F-Wert	
<b>T</b>	T-Wert	(T-Wert mit $M = 50$ , $SD = 10$ )
<b>Z</b>	Z-Wert	
<b>fMRT</b>	funktionelle Magnetresonanztomographie	
<b>EEG</b>	Elektroenzephalographie	
<b>PET</b>	Positronenemissionstomographie	
<b>BA</b>	Brodman Areal	

## Gedächtnismodelle

<b>HIPER</b>	<u>H</u> ippocampal <u>E</u> ncoding/ <u>R</u> etrieval Modell
<b>HERA</b>	<u>H</u> emispheric <u>E</u> ncoding/ <u>R</u> etrieval <u>A</u> symmetry Modell
<b>HAROLD</b>	<u>H</u> emispheric <u>A</u> symmetry <u>R</u> eduction in <u>O</u> lder Adults Modell

## Abstract

The ability to decide deliberately which event or thought is worth to be remembered or can be forgotten alternatively is a basic foundation of regulating one's memory. Active suppression is part of this self-regulative functioning and for this reason also part of executive operations. Within a so-called *think/no-think* paradigm (subjects have either to remember or to suppress former studied words) a network model of memory control (Anderson & Green, 2001; Anderson et al., 2004a) has been developed: the dorsolateral prefrontal cortex seems to play a crucial role in controlling the hippocampus while retrieving neutral episodic memory contents. On behavioural level the authors detected that words that should be remembered during the *think/no-think* phase as well as words that are only learned initially and retrieved in the end are significantly better stored in memory than words that should be suppressed.

In my project I adapted this paradigm and compared the behavioural data of 15 younger (mean age 23.5 years) and 15 older healthy adults (mean age 64.7 years). To further investigate the neural underlyings of this possible suppression effect we measured the brain activation of these 30 healthy subjects with functional magnetic resonance imaging (fMRI) while completing the *think/no-think* paradigm. Additionally, an extensive neuropsychological test battery was conducted. Hence, the comparability of the groups was examined and especially the executive functions of the older and younger participants were assessed.

Within the behavioural data no suppression effect as predicted by Anderson and Green (2001) could be replicated in neither of the two groups. However, there was an executive process during the *think/no-think* procedure, as the imaging data suggest.

The activation pattern found in this paradigm is discussed with regard to the behavioural and neuropsychological data, particularly those concerning executive functions, as well as the underlying networks of suppression as proposed by Anderson et al. (2004a) and the general neural substructures of aging. My results suggest a prefrontal network of cognitive control within the subsample of young participants similar to the finding of Anderson et al. (2004a). By dividing the elderly subjects of this study into two groups, the high-performing elderly showed a frontal network comparable to the younger ones with a dedifferentiation concerning the hemispheric asymmetry while the low-performing elderly showed no frontal activation at all at a comparable significance threshold. Thus, the results of the presented study are in accordance with former studies to frontal compensation and beginning dysfunction during healthy aging and give reason to further aging research related to cognitive control.

## Zusammenfassung

Die Fähigkeit, selbst willentlich entscheiden zu können, welche Gedächtnisinhalte es wert sind, dauerhaft behalten zu werden und welche vergessen werden können, ist eine basale Grundlage der Regulation des eigenen Gedächtnisses. Aktives Supprimieren als wesentlicher Bestandteil dieser selbstregulativen Mechanismen zählt zu den Exekutivfunktionen. Mittels des so genannten *think/no-think* Paradigmas (die Probanden sollten sich entweder an vorher gelernte Wörter erinnern oder die Erinnerung daran unterdrücken) wurde ein Netzwerk-Modell hinsichtlich der Kontrolle über die eigenen Erinnerungen entwickelt (Anderson & Green, 2001; Anderson et al. 2004a): Der dorsolaterale präfrontale Cortex scheint beim Abruf neutralen Materials eine entscheidende Rolle hinsichtlich der Steuerung des Hippocampus zu spielen. Auf Verhaltensebene wurde herausgefunden, dass die Wörter, an die man sich während des *think/no-think* Paradigmas erinnern sollte und Wörter, die lediglich gelernt und später wieder abgerufen wurden, auch tatsächlich signifikant besser im Gedächtnis verankert waren als diejenigen, die zu supprimieren waren.

In der eigenen Studie wurde dieses Paradigma adaptiert und die Daten von jeweils 15 gesunden jüngeren ( $M = 23,5$  Jahre) sowie 15 älteren ( $M = 64,7$  Jahre) Probanden verglichen, die das Paradigma während einer Untersuchung mit funktioneller Magnetresonanztomographie (fMRT) absolvierten. Zusätzlich wurde eine ausführliche neuropsychologische Testbatterie durchgeführt. Somit wurde die Vergleichbarkeit der Probandengruppen gesichert und die Exekutivfunktionen aller Teilnehmer erfasst.

In beiden Gruppen fand sich in den Verhaltensdaten kein Suppressionseffekt, wie ihn Anderson und Green (2001) definierten. Dennoch zeigte sich auf neuronaler Ebene ein Aktivierungsmuster, das auf einen zugrunde liegenden exekutiven Prozess schließen lässt.

Die resultierenden Aktivierungsmuster werden im Zusammenhang mit den Verhaltens- und neuropsychologischen Daten (v.a. hinsichtlich der Exekutivfunktionen) interpretiert und in Hinblick auf die neurofunktionellen Ergebnisse von Anderson et al. (2004a) und auf generelle altersbezogene Veränderungen diskutiert. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass sich bei den jüngeren Probanden ein präfrontales Netzwerk der kognitiven Kontrolle zeigt, das mit dem von Anderson et al. (2004a) gefundenen vergleichbar ist. Nach einer Unterteilung der Gruppe der älteren Probanden in Personen mit eher hohem bzw. niedrigem kognitiven Funktionsniveau, fand sich in ersterer Gruppe beim Supprimieren ein frontales Netzwerk, das mit dem der jüngeren Probanden hinsichtlich der involvierten Areale vergleichbar war bei verstärkt bilateraler Beteiligung der aktivierten Regionen bei den älteren. Die älteren mit dem

niedrigeren Funktionsniveau zeigten hingegen bei einem vergleichbaren Signifikanzniveau keine frontale Aktivität. Somit stehen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit in Einklang mit früheren Arbeiten zu frontalen Kompensationsprozessen und beginnendem Abbau im gesunden Altersprozess und geben somit Anlass zu weiteren Studien in der Altersforschung, die mit kognitiver Kontrolle in Zusammenhang stehen.

## I. Theorie

### **1. Einleitung**

Nach Miller und Cohen (2001) ist eines der großen Mysterien der Gehirnfunktion die kognitive Kontrolle. Sowohl ist sie die Grundlage der essentiellen Fähigkeit, selbst aktiv entscheiden zu können, an welche Gedächtnisinhalte man sich erinnern möchte und welche lieber vergessen werden können, als auch eine der wichtigsten selbstregulativen Kontrollprozesse bei der Eindrucks- und Informationsverarbeitung.

Schon Freud (1966, zitiert nach Strachey, J. [Hrsg.]) beschäftigte sich mit diesen Regulationsmechanismen. Doch hier findet sich bereits der erste Unterschied zwischen dem, was Freud vor gut 100 Jahren als Repression betitelte und was heute unter selbstinduzierter Suppression verstanden wird (Definition siehe Anderson & Green, 2001). Bei Freuds Definition handelt es sich um einen unbewussten Prozess, der von einem Individuum ohne dessen willentliche Beteiligung initiiert wird, weil die entsprechende Person mit ihren bedrückenden Erinnerungen nicht umgehen kann und es deswegen für sie notwendig zum Weiterleben ist, sich von diesen Gedächtnisinhalten zu distanzieren. Dennoch bleiben seiner Meinung nach die belastenden Erlebnisse unter der Oberfläche vorhanden, so dass die Person trotz der Repression nicht unbelastet davon bleibt. In Träumen oder unter Hypnose kommen die Erinnerungen an die Oberfläche, ins Bewusste, bzw. werden im Rahmen einer Therapie sogar absichtlich „hervorgeholt“, um aufgearbeitet werden zu können. Insofern ist der von Freud beschriebene Repressionsprozess eine implizite Reaktion auf belastende Erlebnisse und muss als solche von dem expliziten Suppressionsvorgang, der hier näher untersucht wird, differenziert werden.

Der Suppressionsprozess, mit dem sich die vorliegende Arbeit beschäftigt, ist als ein willentlicher Vorgang definiert, der von einem Individuum absichtlich angestrebt wird, um Erinnerungen aktiv zu supprimieren, um sie schließlich, als Endziel, zu vergessen (Anderson & Green, 2001). Hierbei handelt es sich eben nicht um einen unbewussten impliziten Vorgang, sondern um einen speziellen bewussten und somit expliziten Kontrollmechanismus.

---

Der wichtige Unterschied zwischen diesen beiden Vorgängen liegt im Wort „willentlich“: Der Kontrollprozess, der hier genauer untersucht wird, ist ein Steuerungsmechanismus, der mit den exekutiven Funktionen assoziiert ist.

Diese Arbeit basiert auf den Annahmen und Ergebnissen einer Studie von Michael C. Anderson und Collin Green (2001), in welcher die behavioralen und später auch die neuronalen (Anderson et al., 2004a) Grundlagen der willentlichen Suppression von episodischen Gedächtnisinhalten experimentell untersucht wurden. Die Autoren zogen die folgenden Schlussfolgerungen aus ihren Ergebnissen:

1. Gesunde junge Menschen sind grundsätzlich in der Lage, unerwünschte episodisch-assoziative Gedächtnisinhalte zu unterdrücken.
2. Das Supprimieren von Gedächtnisinhalten ist ein exekutiver Kontrollprozess und somit mit intakten Frontalhirnfunktionen assoziiert.
3. Bei der Suppression von episodischen Gedächtnisinhalten bewirkt die Aktivierung frontaler Regionen bei gleichzeitiger verminderter Aktivierung limbischer Regionen das Vergessen der vorher enkodierten Inhalte.

Somit ist für das grundsätzliche Verständnis dieses komplexen Kontrollprozesses ein umfassender Einblick in die theoretischen Grundlagen einerseits episodischer Enkodier- und Gedächtnisleistungen notwendig, aber auch andererseits der entsprechenden neuronalen Korrelate sowie generell der Funktionsweisen der frontalen Hirnregionen. Dabei werden in der vorliegenden Arbeit besonders der präfrontale Cortex und die mit ihm assoziierten Aufgaben besprochen. Des Weiteren wird ein Überblick über Kontrollprozesse im Allgemeinen gegeben, wobei hier schon speziell auf Inhibition und noch spezifischer auf die Gedankeninhibition (kognitive Inhibition im Unterschied zur behavioralen Inhibition) eingegangen wird und auch in diesem Bereich die neuronalen Korrelate erwähnt werden.

Da gerade die frontallhirn-assoziierten Funktionen im gesunden Altersverlauf Veränderungen im Sinne von Funktionsminderungen unterliegen, schien es interessant an die Untersuchungen des Anderson-Teams anzuschließen und eine Stichprobe von älteren gesunden Probanden zu untersuchen, um mögliche Auswirkungen des Altersvorgangs auf die aktive Suppression beobachten zu können. Deswegen wird im Folgenden auch ein Überblick über den gesunden Altersprozess im Allgemeinen sowie in Hinblick auf episodische Gedächtnisleistungen,

Exekutivfunktionen, kognitive Inhibition und entsprechende neuronale Korrelate im Speziellen gegeben. Abschließend wird noch auf die Ergebnisse der beiden Studien von Anderson und Green (2001) bzw. Anderson et al. (2004a) eingegangen, bevor die Fragestellungen für die eigenen Untersuchungen formuliert werden.

## **2. Inhibition**

### **2.1 Begriffsdefinition**

Eine der bedeutendsten menschlichen Fähigkeiten ist die Regulation und Kontrolle von Verhalten und Gedanken. Man spricht dabei von Inhibition (von lat.: *inhibere* = „unterbinden“), wenn ein bestimmter Handlungsimpuls verhindert wird oder sich aufdrängende Gedanken unterbunden werden.

Im Laborexperiment wird die Inhibitionsfähigkeit generell so untersucht, dass die Aufmerksamkeit intentional von einem bestimmten Reiz abgewandt und auf einen alternativen relevanten Reiz gerichtet werden soll. Ist diese kognitive Flexibilität beeinträchtigt, spricht man auch von Interferenzanfälligkeit.

Generell dominierte in der Forschung die Untersuchung von motorischer Inhibition, dazu zählen die bekannten *go/no-go* Aufgaben (beispielsweise der gleichnamige Subtest der Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung, Zimmermann & Fimm, 2002), bei denen auf einen häufig auftretenden Reiz reagiert werden muss, meist mittels Tastendruck, während auf einen weniger häufig vorkommenden Stimulus nicht reagiert werden soll. Zusätzlich wird mittels ähnlicher Paradigmen die Interferenzanfälligkeit untersucht, hierbei soll bei einer Stimulusreihe der offensichtlich im Vordergrund stehende Reiz zugunsten eines unauffälligeren unterdrückt werden (siehe Stroopaufgaben, beispielsweise Bäumlner, 1985).

Ein weiteres Beispiel solcher Aufgaben ist aus der Psychophysiologie das Generieren von Antisakkaden. Bei diesen Aufgaben soll die natürlich erscheinende Reaktion, nämlich zu einem plötzlich aufblinkenden Reiz im peripheren Blickfeld hinzuschauen, unterdrückt werden und in die entgegengesetzte Richtung geschaut werden (Everling & Fischer, 1998). Hierbei handelt es sich ebenfalls um das Supprimieren einer motorischen Reaktion.

In der vorliegenden Studie geht es nun weniger um das Unterdrücken motorischer Antworten als viel mehr um das aktive, willentliche Supprimieren von Gedächtnisinhalten und Gedanken.

In Anlehnung an das Modell von Harnishfeger (1995) können die folgenden inhibitorischen Funktionen unterschieden werden:

1. Interferenzkontrolle als Unterdrückung eines kompetitiven Reizes, der eine meist motorische Antwort hervorruft,
2. automatische kognitive Inhibition und
3. intentionale kognitive Inhibition, unter beiden Prozessen wird das aktive Verdrängen von irrelevanten oder unerwünschten Informationen aus dem Arbeitsgedächtnis verstanden, sowie
4. behaviorale Inhibition als Suppression von automatischen, präpotenten Handlungen.

Der Kontrollprozess, der in dieser Studie eingehend behandelt wird, wird von Harnishfeger (1995) als intentionale kognitive Inhibition beschrieben, weswegen im Folgenden auch dieser Begriff oder der Begriff der Gedankeninhibition verwendet wird.

Die Suppression von Gedächtnisinhalten gehört als aktiver Kontrollprozess zu den Exekutivfunktionen, die der gesunde Mensch als höhere Instanz einsetzt, um sein Handeln, Denken und vielleicht auch Fühlen zu kontrollieren und beeinflussen. Durch exekutive Kontrolle werden Impulse und Triebe gesteuert und somit das Verhalten einerseits an bestehende soziale Normen und Regeln angepasst. Jedoch stehen diesbezüglich nicht nur gesellschaftliche Konventionen im Vordergrund, grundsätzlich sind andererseits diese Kontrollfunktionen von essentieller Bedeutung, sich selbst und der Umwelt durch angemessene Verhaltensregulation keinen Schaden zuzufügen.

Nun hängt jedoch die Fähigkeit, sich selbst und seine Handlungen kontrollieren zu können von entsprechenden interpersonellen Dispositionen ab: Generell geht ein höheres allgemeines Intelligenzniveau meist auch mit besser ausgeprägten Exekutivfunktionen einher (wenn auch nicht mit allen, wie später noch genauer ausgeführt wird, siehe Friedman et al., 2006), ebenso wie im Spezielleren möglicherweise bessere Leistungen bezüglich des Arbeitsgedächtnisses und der fluiden Intelligenz mit einer stärker ausgeprägten Fähigkeit, persönlich relevante aufdringliche Gedanken absichtlich zu unterdrücken (Brewin & Beaton, 2002), assoziiert ist.



Dabei spielt auch die individuelle Grundstimmung eine Rolle: Generell schlechtere Stimmung korrelierte experimentell mit häufigeren kognitiven Intrusionen (Brewin & Smart, 2005).

Doch nicht nur die individuelle Ausprägung von Intelligenz, Arbeitsgedächtnis oder Stimmung hat ihre Auswirkungen auf die Qualität der Gedankensuppression, sondern auch die Verwendung bestimmter Strategien, um das Unterdrücken zu stärken, spielt eine Rolle (Hertel & Calcaterra, 2005). Neuere Studien zum gezielten Vergessen geben Hinweise darauf, dass je nachdem welche Strategie eine Person verwendet, um unerwünschte Gedächtnisinhalte zu verdrängen, ihr dieses desto erfolgreicher gelingt. Hertel und Calcaterra fanden beispielsweise heraus, dass Probanden, die während des Suppressionsintervalls „Ersatzwörter“ als Stimuli bekamen, womit sie sich ablenken konnten, eine höher ausgeprägte Vergessensrate zeigten als Probanden, die während der Suppressionsphase ohne Ablenkung versuchen sollten, die entsprechenden Inhalte zu supprimieren.

Die Ergebnisse von Rassin et al. (2003) deuten darauf hin, dass die eigene Überzeugung der Probanden, bzw. die vom Studienleiter induzierte Überzeugung, wie erfolgreich man Erinnerungen unterdrücken kann, den tatsächlichen Erfolg diesbezüglich vorhersagen kann. In ihrer Studie erzielten diejenigen Probanden die höheren Suppressionsraten, denen vorher mitgeteilt wurde, dass Suppression grundsätzlich möglich ist, als diejenigen, denen man vermittelte, dass das Unterdrücken unerwünschter Gedanken eher zu einer späteren Verstärkung dieser Erinnerungen führt. Anderson und Green (2001) kamen bezüglich dieses Aspekts zu einem anderen Resultat:

In der ursprünglichen Studie zum *think/no-think* Paradigma konnten die Autoren feststellen, dass sogar wenn man den Probanden erzählte, Suppression würde zu einer Verstärkung der Erinnerung führen, ihre Verhaltensdaten eine Suppressionseffekt aufwiesen.

Zunächst werden noch die so genannten paradoxen Effekte der Gedankensuppression näher beleuchtet. Im Allgemeinen sind die Ergebnisse von Studien zum aktiven Unterdrücken von Gedächtnisinhalten ziemlich heterogen (Rassin et al., 2000; Abramowitz et al., 2001), wobei die Resultate von Anderson und Mitarbeitern in ihrer Deutlichkeit bislang relativ einzigartig sind, auf Verhaltens- und neurobiologischer Ebene (Anderson & Green, 2001; Anderson et al., 2004a). Rezeptionen und Replikationen der Originalarbeit werden am Ende dieses Abschnitts unter Punkt 5 beschrieben.

## 2.2 Neuronale Korrelate der kognitiven Inhibition

Wyland et al. (2003) untersuchten in einer Studie die neuronalen Grundlagen folgender inhibitorischer Vorgänge: Die Versuchspersonen sollten versuchen, einen speziellen, vorher angegebenen Gedanken zu unterdrücken (spezifische Suppression). In einer weiteren Bedingung sollten die Teilnehmer versuchen, jeglichen Gedanken aus ihrem Kopf zu verbannen (allgemeine Suppression). Zu diesen beiden unterschiedlichen Suppressionsbedingungen kam dann noch die so genannte *free thoughts* Bedingung, hier hatten die Probanden die Freiheit, während der Untersuchung an alles mögliche zu denken, was ihnen in den Sinn kam. Mittels dieser Aufgabenstellung – während die Probanden diesen Anweisungen nachkamen, wurde ihre individuelle Gehirnaktivität mit funktioneller Magnetresonanztomographie erfasst – gelangten die Autoren zu folgendem Aktivierungsmuster:

Im Vergleich der *free thoughts* Bedingung gegen die spezifische Suppressionsbedingung, fand sich für die Suppression eine erhöhte Aktivierung im linken Cingulum anterior (Brodmann Areal [BA] 32). Vergleich man die spezifische Inhibition mit der allgemeinen Suppressionsbedingung, die darin bestand an möglichst gar nichts zu denken, fand sich für die allgemeine Bedingung erhöhte Aktivität in der rechten und linken Insula inklusive jeweils angrenzendem Temporallappen (je BA 22/47) sowie rechts im Lobulus parietalis inferior (BA 40). Schließlich fand sich im Vergleich der allgemeinen Inhibitionsaufgabe zum freien Gedankenfluss für die Inhibition erhöhte Aktivität in der rechten Insula (BA 44), in der linken Insula plus angrenzendem Frontallappen (BA 45/46), im Cingulum anterior rechts (BA 32/24) und im rechten Parietallappen (BA 40).

Mit diesen Ergebnissen gibt die Studie also Hinweise darauf, dass das Cingulum anterior wie auch die Insula, die in einer beträchtlichen Anzahl an Forschungsarbeiten als verantwortlich für die Regulation und Modulation von beispielsweise Schmerz (einen Überblick über die verschiedenen Funktionsweisen der Insula bieten Flynn et al., 1999) oder auch ekelerregenden Stimuli (z. B. Lorenz et al., 2003, wobei in dieser Studie auch der präfrontale Cortex an der Regulierung beteiligt ist) betitelt wird, auch beim aktiven kognitiven Supprimieren (sowohl von einzelnen speziellen Inhalten aber auch generell) eine Rolle spielen.

Ähnliche Regionen zeigten sich auch in der Untersuchung von Blasi et al. (2006) involviert, die bei einer Aufgabe zur kognitiven Antwortinhibition erhöhte Aktivierungen in folgenden Arealen fanden: bilateral in Insula (BA 13) und den Parietallappen (BA 40) sowie frontale

Mehraktivierung in den Brodmann Arealen 9 und 10 bilateral, BA 47 links und BA 6 in der rechten Hemisphäre. Für die Bedingung Interferenzmonitoring und Unterdrückung, ein Prozess, der an der aktiven Gedankenunterdrückung auch beteiligt sein mag, entdeckten Blasi et al. erhöhte Aktivität zusätzlich im Cingulum (BA 32), ähnliche frontale Beteiligung mit BA 47 bilateral, BA 6 und 9 rechts, sowie Mehraktivierung im Parietallappen bilateral (jeweils BA 7 und 40). Die Insulae waren unter dieser Bedingung nicht involviert.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass diese Studie ein Netzwerk der Gedankenkontrolle unterstützt, in welches der dorsolaterale und ventrolaterale präfrontale Cortex, das Cingulum anterior und der Parietallappen eingeschlossen sind, die Rolle der Insulae bleibt hier fraglich (Blasi et al., 2006).

### **2.3 Generelle Funktionen des präfrontalen Cortex**

Man stimmt in Forscherkreisen weitgehend darin überein, dass die Exekutivfunktionen, zu denen auch die kognitive Inhibition, die im vorangegangenen Abschnitt behandelt wurde, gezählt werden kann, funktionell mit dem präfrontalen Cortex verknüpft sind (Miller & Cohen, 2001). Doch es stellt sich immer wieder die Frage, wie diese Region mit den notwendigen Fähigkeiten ausgestattet wird, um exekutive Kontrolle ausüben zu können. In ihrer Überblicksarbeit über die Funktionen des präfrontalen Cortex kommen die Autoren hinsichtlich dieser Fragestellung zu den folgenden Schlussfolgerungen:

*Here, we propose that cognitive control stems from the active maintenance of patterns of activity in the prefrontal cortex that represent goals and the means to achieve them. They provide bias signals to other brain structures whose net effect is to guide the flow of activity along neural pathways that establish the proper mappings between inputs, internal states, and outputs needed to perform a given task. (S.167)*

Da der präfrontale Cortex eine sehr komplexe und große Hirnregion ist, bleibt es nicht aus, dass in der Forschung versucht wird, einzelnen Substrukturen spezielle Funktionen zuzuordnen. Im Allgemeinen wird Aktivität im Frontallappen mit Wahrnehmung generell, Entscheidung, wann auf etwas wie reagiert wird (*response selection*), exekutiver Kontrolle, Arbeits- und episodischem Gedächtnis sowie Problemlösen in Verbindung gebracht (beispielsweise Duncan & Owen, 2000). Der Untersuchung dieser Autoren zufolge gibt es eine Art Spezialisierung im Gehirn, jedoch eine unerwartete: Abgesehen von einem spezifischen Netzwerk mittlerer dorso- sowie ventrolateraler Regionen inklusive des

anterioren cingulären Cortex sind die meisten Substrukturen im Frontallappen zu allen oben aufgelisteten Funktionsbereich nicht sensitiv. Das bedeutet, dass sie keine Aktivierung bei entsprechenden Aufgaben zeigen.

Diese Befunde stimmen mit denen von Nyberg et al. (2003) überein, die bei einer PET-Untersuchung (Positronenemissionstomographie) ebenfalls die erwähnten drei Subregionen bei Aufgaben zum Arbeits-, episodischen und semantischen Gedächtnis fanden. Daneben existieren jedoch auch einzelne spezifische kognitive Prozesse, die offensichtlich tatsächlich bestimmten Gehirnregionen zugeordnet werden können:

So fanden zum Beispiel Sylvester et al. (2003) Hinweise darauf, dass die der kognitiven Kontrolle zugrunde liegenden Prozesse durchaus trennbar seien: Einerseits konnten die Autoren Regionen ausfindig machen, die sowohl beim *Task-Switching* (Wechsel zwischen verschiedenen Aufgaben, dient der Überprüfung der kognitiven Umschaltfähigkeit und Aufmerksamkeitsfokussierung) als auch bei der Inhibition einer motorischen Antwort aktiv waren (Parietalcortex, BA 40, dorsolateraler präfrontaler Cortex, BA 9, der prämotorische Cortex, BA 6 und medialer frontaler Cortex, BA 6/32), andererseits aber auch Regionen, die nur in die eine bzw. die andere Aufgabe involviert waren: *Switching*: BA 7 und 18, *Inhibition*: BA 6 und 10. Die Ergebnisse dieser letzteren Studie deuten darauf hin, dass über ein generelles Netzwerk hinaus, das bei mehreren Exekutivfunktionen aktiv ist, die einzelnen Subfunktionen doch eigene Schwerpunkte in der Verteilung der Aktivierung über die Frontallappen hinweg aufweisen.

Der präfrontale Cortex spielt nicht nur bei Gedächtnis- und Kontrollprozessen im Allgemeinen eine wichtige Rolle, sondern zusätzlich auch bei emotionalen Vorgängen. Beispielsweise wird davon ausgegangen, dass Emotionsregulation von zwei Gehirnregionen hauptsächlich gesteuert wird: Die Interaktion von präfrontalen und cingulären Kontrollinstanzen und kortikalen und subkortikalen Systemen, die überhaupt für die Entstehung von Emotionen von Bedeutung sind (Ochsner & Gross, 2005).

Somit sind in dieses Modell der kognitiven Emotionskontrolle einerseits die Regionen involviert, die generell auch bei Exekutivfunktionen genannt werden und zudem Areale, die sich in der Emotionsforschung als wesentliche neuronale Grundlage etabliert haben. Auch in der Schmerzregulation wird der dorsolaterale präfrontale Cortex als modulierende Instanz erwähnt.

Lorenz et al. (2003) fanden in ihrer Studie Hinweise darauf, dass der dorsolaterale präfrontale Cortex durch seine Konnektivität zu kortikalen und subkortikalen Leitungsbahnen schmerzregulierend auf diese Regionen einwirken kann. Hiermit ist eine weitere wichtige Besonderheit des präfrontalen Cortex angesprochen: Dadurch, dass diese Gehirnregion mit vielen weiteren Arealen effektiv und funktional verknüpft ist, kann Kontrolle auf unterschiedlichste Reize, die in das Bewusstsein (oder auch das Unterbewusstsein) eindringen, ausgeübt und moduliert, reguliert oder inhibiert werden.

## **2.4 Kognitive Korrelate der Inhibitionsfähigkeit**

Neuere Studien stehen im Widerspruch zu der althergebrachten Überzeugung, dass besser ausgeprägte Exekutivfunktionen auch stets mit einem höheren Intelligenzniveau einhergehen. Friedman et al. (2006) fanden in ihrer Studie zwar Zusammenhänge zwischen fluider und kristallisierter Intelligenz (gemessen mit der *Wechsler Adult Intelligence Scale*, WAIS: Wechsler, 1997) und dem Aktualisieren von Arbeitsgedächtnisprozessen (Hinzufügen und Entfernen von Inhalten zum Arbeitsgedächtnis), jedoch nicht hinsichtlich *Shifting* (darunter wird das Wechseln zwischen zwei Aufgaben verstanden) und Inhibition von motorischen Reaktionen. In der weiteren Analyse lagen für diese beiden exekutiven Kontrollprozesse immerhin schwache Korrelationen mit den Intelligenzwerten vor, während jedoch das Aktualisieren deutlich stärkere Verbindungen zum Leistungsniveau aufwies.

Somit liegt die Schlussfolgerung nahe, dass höhere Intelligenz wohl mit den meisten, aber nicht mit allen exekutiven Funktionen positiv korreliert ist.

## **2.5 Kognitive Inhibition und Psychopathologie**

So nützlich die Vorstellung sein mag, Unerwünschtes einfach durch absichtliches Vergessen aus dem Gedächtnis zu radieren, bei verschiedenen klinischen Dispositionen hat es möglicherweise genau den entgegengesetzten Effekt. In einer follow-up Studie untersuchten beispielsweise Beevers und Meyer (2004), inwiefern die Fähigkeit zur Suppression von Gedächtnisinhalten dazu beiträgt, die Auswirkungen von Stress (*life stress*) auf eine mögliche Entwicklung einer Depression zu modifizieren. Sie kamen dabei zu dem Ergebnis, dass bei geringem Stress zwar hohe Suppressionsdispositionen einer depressiven Entwicklung entgegenwirken, allerdings bei zunehmendem Stress die Depression noch fördern. Diese

Ergebnisse unterstützen nur teilweise die These, dass durch Suppression unerwünschte Gedächtnisinhalte vergessen werden können.

Rosenthal et al. (2005a) kamen in diesem Zusammenhang zu einem ähnlichen Resultat: In ihrer follow-up Studie erwiesen sich Schwere und Chronizität der Depression sowie hochgradige Neigung zur Gedankenunterdrückung als assoziiert mit verstärkten depressiven Symptomen sechs Monate nach der Behandlung (Behandlung erfolgte mit der so genannten „dialectical behavior therapy for depressed older adults“). Also scheint neben Schwere und Chronizität der Symptome auch der Umgang mit unerwünschten Gedanken eine Wirkungsvariable hinsichtlich des Therapieerfolgs zu sein.

Ein bekanntes Verfahren zur Überprüfung der Gedankensuppression ist das *White-Bear-Suppression-Inventory* (Wegner & Zanakos, 1994), mit dem die Neigung der Probanden erfasst wird, ihre Gedanken zu kontrollieren und inhibieren. Die Autoren konnten mittels dieses Verfahren einen Zusammenhang zwischen chronischer Gedankensuppression und Zwangsgedanken, depressiven und ängstlichen Zuständen feststellen. Somit spielt die Gedankensuppression auch in der Psychopathologie der erwähnten und darüber hinaus auch in den Krankheitsbildern Borderline-Persönlichkeitsstörung und posttraumatische Belastungsstörung eine wichtige Rolle.

Wie schon erwähnt, finden sich Zusammenhänge nicht nur zwischen hohen Werten im White-Bear-Suppressions-Inventar und Verfahren, die depressive Zustände erfassen, sondern auch zu Messinstrumenten, mittels derer obsessives Denken und ängstliche Symptomatik überprüft werden (Wegner & Zanakos, 1994). Da die Chronifizierung der Neigung, alles Negative sofort so gut wie möglich zu unterdrücken, gerade auch im Zusammenhang mit der Borderline-Persönlichkeitsstörung eine Rolle spielt (Cheavens et al., 2005), besteht zumindest die Möglichkeit, therapeutisch auf die Neigung zur Gedankenunterdrückung einzuwirken, um somit maladaptive Verhaltensweisen zu reduzieren (Rosenthal et al., 2005b). Auch für das Verständnis von Zwangserkrankungen ist der Einblick in gestörte Gedankenkontrolle ein wichtiger Aspekt. Purdon et al. (2005) fanden in ihrer untersuchten Gruppe von Patienten mit Zwangsstörung folgende Zusammenhänge: Erstens gab es keinen paradoxen Suppressionseffekt. Zweitens war der Suppressionsaufwand desto größer je dringender die Kontrolle über den entsprechenden Gedanken empfunden wurde, obwohl die Instruktion

lautete, nicht zu supprimieren, unabhängig von anfänglicher Gemütslage, der generellen Bewertung der Zwangsgedanken und der Häufigkeit, mit welcher diese auftraten.

Insgesamt scheint jedoch Gedankenunterdrückung bei emotionalen Störungen eher einen negativen Einfluss auf den Symptomverlauf zu haben in dem Sinne, dass die Häufigkeit, mit welcher die störenden Gedanken auftauchen, zunimmt (Übersichtsarbeit siehe Purdon, 1999). Dennoch gibt es neuere Studien, die beweisen, dass auch das Gegenteil zutreffend sein kann (Purdon et al., 2005). Zusammenfassend kann lediglich festgehalten werden, dass Gedankenunterdrückung einen Einfluss auf psychische Störungen haben kann und es in Hinblick auf mögliche therapeutische Interventionen wichtig ist, diesen Einfluss genauer zu untersuchen.

### **3. Episodisches Gedächtnis**

#### **3.1 Begriffsdefinition**

Das Gedächtnis lässt sich nach unterschiedlichen Gesichtspunkten in verschiedene Bereiche einteilen. So gibt es beispielsweise die Unterteilung nach der Zeit (Kurzzeitgedächtnis, Langzeitgedächtnis), die eine lange Tradition hat und allgemein anerkannt ist (Markowitsch, 1999). Dieser Aspekt ist für die vorliegende Arbeit nicht von Bedeutung und wird deswegen nicht weiter ausgeführt. Weitaus interessanter erscheint für die bearbeitete Fragestellung die Unterteilung des Gedächtnisses nach Inhalten. Diese Unterteilung hat sich erst in den letzten Jahren etabliert (Tulving, 1995) und ist auch bis heute weder einheitlich noch unumstritten (Jacoby & Witherspoon, 1982; Roediger, 1990). Nach Markowitsch (1999), auf den ich mich im Folgenden beziehe, kann in Anlehnung an Tulvings Vorstellungen (1995) das Gedächtnis inhaltlich in fünf Subsysteme aufgeteilt werden. In hierarchischer Reihenfolge (simpel – komplex) sind das

1. das prozedurale oder auch nondeklarative Gedächtnis,
2. das perzeptuelle Repräsentationssystem (Priming),

3. das Wissenssystem (Kenntnissystem), auch generisches Gedächtnis, welches das Faktenwissen umfasst,
4. das Primärgedächtnis (Arbeits- und Kurzzeitgedächtnis) und
5. das episodische Gedächtnis.

Das episodische Gedächtnis wird im Folgenden genauer erläutert, da es das Gedächtnissystem ist, dem in der vorliegenden experimentellen Untersuchung eine tragende Rolle zukommt. Für Aufgaben wie Wortlistenlernen und – wie in der vorliegenden Arbeit – Wortpaarenkodierung ist ein intaktes episodisches Gedächtnis essentiell, da das Enkodieren und Abrufen von Ereignissen inklusive ihres genauen zeitlichen Kontextes (Ereignisgedächtnis) zur primären Funktion des episodischen Gedächtnisses zählt. Eine weitere wichtige Funktion dieses Gedächtnissystems ist das Erinnern auf autooetischer Bewusstseinsstufe, das bedeutet, dieses System ist auch verantwortlich für autobiographische Erinnerungen. Erweitert um den Faktor *Selbstbezug* ist das episodische Gedächtnis auch das persönliche Gedächtnis. Die Gehirnregionen, die bei diesen Prozessen eine Rolle spielen, sind nach Markowitsch (1999) hinsichtlich Enkodierung und Konsolidierung das limbische System, für die Ablagerung der cerebrale Cortex (vor allem Assoziationsgebiete) und für den Abruf der temporo-frontale Cortex rechtshemisphärisch. Andere Autoren nennen hier noch die Frontallappen (Lee et al., 2000) bzw. etwas spezifischer den präfrontalen Cortex als generell in episodische Gedächtnisprozesse involviert (Cabeza et al., 2003b; Nyberg et al., 2003; Ranganath et al., 2003). Jedoch wird diese Hirnregion auch speziell sowohl für Einspeicherung (Fletcher et al., 1998a) als auch Abruf (Fletcher et al., 1998b) mit episodischen Gedächtnisprozessen in Verbindung gebracht.

### **3.2 Neuronale Korrelate des episodischen Gedächtnisses**

Neurofunktionelle Bildgebungsstudien (PET und funktionelle Magnetresonanztomographie [fMRT]) ergeben relativ einheitlich, dass folgende drei Regionen an Gedächtnisprozessen beteiligt sind: der ventrolaterale, der dorsolaterale und der anteriore frontale Cortex (für einen Überblick siehe Fletcher & Henson, 2001). Im Folgenden wird dargestellt, inwieweit darüber hinaus spezielle Gedächtnissubsysteme einzelnen Hirnregionen zugeordnet werden können.

In einer PET-Studie von Cabeza et al. (2003b) wird die Annahme, die bereits 1999 von Markowitsch postuliert wird, bestätigt, dass für den Abruf von episodischem Material (bei



Cabeza handelt es sich speziell um verbales Material) der rechte frontale Cortex zuständig ist. Als zusätzliches Ergebnis dieser Untersuchung führen die Autoren an, dass hingegen semantisches Material eher mit einer linksseitigen frontalen Aktivierung einhergeht.

Gleichzeitig ist der präfrontale Cortex nicht nur in episodische Gedächtnisprozesse, sondern darüber hinaus in einer Vielzahl verschiedener Gedächtnisaufgaben involviert (siehe Nyberg et al., 2003). So fanden beispielsweise Nyberg und Mitarbeiter ebenfalls mittels einer PET-Untersuchung generell vier Gehirnregionen, die an unterschiedlichen Aufgaben zum Arbeitsgedächtnis, semantischen und episodischen Gedächtnis beteiligt waren: der linke frontopolare Cortex, der linke mittlere ventrolaterale sowie dorsolaterale präfrontale Cortex, und der dorsale anteriore cinguläre Cortex. Demnach scheinen die genannten Regionen generell für distinkte Gedächtnisprozesse aktiviert zu werden und nicht spezifisch für bestimmte Gedächtnissysteme. Des Weiteren untersuchten Ranganath et al. (2003) die funktionellen Grundlagen von Arbeits- und episodischem Langzeitgedächtnis mittels ereignisbezogener funktioneller Magnetresonanztomographie und erhielten folgende Aktivierungen: Während Enkodierung und Abruf sowohl in Bezug auf die Arbeits- als auch die Langzeitgedächtnisaufgabe fand sich eine bilaterale Aktivierung in ventrolateralen präfrontalen Regionen (BA 6, 44, 45 und 47) und im dorsolateralen präfrontalen Cortex (BA 9 und 46). Diese Ergebnisse liefern Hinweise darauf, dass Arbeits- und Langzeitgedächtnisprozesse von ähnlichen neuronalen Grundlagen abhängen, die bilaterale Aktivierung ergibt sich möglicherweise aus der gleichzeitigen Analyse von Enkodierungs- und Abrufaufgaben.

Wie komplex tatsächlich die Grundlagen des episodischen Gedächtnissystems sind, wird in einer Studie von Cabeza et al. (2003a) dargestellt: Für ein intaktes episodisches Gedächtnis sind in Anlehnung an die Autoren funktionierende Aufmerksamkeitsprozesse notwendig. Diese Schlussfolgerung ergibt sich aus dem Befund, dass beim episodischen Abruf ein frontoparietal-cingulär-thalamisches Netzwerk beteiligt war, welches auch bei einer visuellen Aufmerksamkeitsaufgabe aktiviert war. Folglich scheinen auch in den episodischen Abruf allgemeine Aufmerksamkeitsprozesse involviert zu sein. Generell kann wohl auch aus dieser Studie abgeleitet werden, dass viele der Aktivierungsmuster oder spezifische Aktivierungen von einzelnen Regionen, die ursprünglich zu speziellen kognitiven Abläufen gerechnet wurden, tatsächlich eher allgemeinere kognitive Prozeduren widerspiegeln.

In einer ebenfalls ereigniskorrelierten funktionellen Magnetresonanztomographie-Studie fanden sich Hinweise auf die These, dass bei der Rekognition von episodischem Material einerseits der laterale präfrontale und parietale Cortex involviert sind, andererseits am erfolgreichen Abruf von Enkodierungskontext (*encoding context*) Strukturen des Temporallappens, Hippocampus und Gyrus parahippocampalis, beteiligt sind (Dobbins et al., 2003). Diese Ergebnisse sind in Einklang mit einem unerwarteten Befund von Cabeza et al. (2003a), die ebenfalls mediale Strukturen des Temporallappens sowohl bei Rekognitionsaufgaben zum episodischen Gedächtnis als auch zur visuellen Aufmerksamkeit entdeckten, dies jedoch dahingehend interpretierten, dass bewusste Prozesse beim Einordnen des vorher enkodierten Materials zum Wiedererkennen führen, unabhängig davon, ob die Stimuli perzeptuell oder mnemonisch verarbeitet wurden.

Eine ERP-Studie (Event-Related Potentials) von Wieser und Wieser (2003) gibt wiederum Hinweise darauf, dass die Unterteilung des Gedächtnisses in mehrere Subsysteme sinnvoll ist: Bei unterschiedlichen Gedächtnisprozessen (episodischen und semantischen, sowie bei impliziten Gedächtnisvorgängen) wurden in dieser Studie auch verschiedene Gehirnregionen in unterschiedlicher zeitlicher Reihenfolge aktiviert. Generell eignen sich ERP-Studien sehr gut, um den zeitliche Ablauf festzuhalten, da die EEG-Methode (Elektroenzephalographie) durch ihre hohe zeitliche Genauigkeit überzeugt, während die fMRT-Methode eine sehr gute räumliche Auflösung aufweist. Die hier gefundenen Unterschiede hinsichtlich der zeitlichen Aktivierung können also in fMRT-Studien nicht oder nur bedingt repliziert werden. Die von den Autoren gefundenen aktiven Regionen stimmen weitgehend mit den Vorbefunden überein (frontale Regionen, bei der Sprachverarbeitung assoziative Regionen etc.).

Die Arbeitsgruppe um Dobbins konnte in zwei Studien experimentell belegen, dass allein schon beim Versuch, episodisches Material abzurufen, diverse Kontrollprozesse aktiv werden, was sich nach den Autoren in einer gesteigerten Aktivität im linken präfrontalen Cortex widerspiegelt (Dobbins et al., 2002; Dobbins et al., 2003). Zu diesen Kontrollprozessen zählen beispielsweise Monitoringfunktionen, die das Quellengedächtnis kontrollieren. Diese Funktionen sind mit linksseitigen präfrontalen Arealen assoziiert (Dobbins et al., 2002). Interessanterweise zeigte sich diese frontale Aktivierung als unabhängig vom Abruferfolg, was die Autoren dahingehend interpretierten, dass bereits beim Versuch, sich zu erinnern, diese steuernden Prozesse aktiviert werden, unabhängig davon, ob der Abruf dann erfolgreich ist oder nicht. Die weiteren Areale, die beim Gedächtnisabruf beteiligt sind (medialer

Temporallappen [MTL]) zeigten hingegen bei geringerem Erfolg auch eine entsprechend geringere Aktivierung (Dobbins et al., 2003). Daraus zogen die Autoren den Schluss, dass in Gedächtnisprozesse zwar generell frontale Regionen involviert sind, das tatsächliche „Hervorholen“ von episodischem Kontext jedoch mit den MTL-Strukturen verknüpft ist.

Nach Fletcher et al. (2000) geben bildgebende Studien übereinstimmend Hinweise darauf, dass generelle Enkodierungsvorgänge mit Aktivierung im linken präfrontalen Cortex assoziiert sind. Dennoch bleibt, so schreiben die Autoren weiter, die Rolle dieser Region weitgehend unklar. Um der eigentlichen Funktion des linken präfrontalen Cortex auf die Spur zu kommen, führten die Autoren ein Paradigma durch, bei dem die Probanden sehr eng assoziierte und eher schwach assoziierte Wörter enkodieren sollten. Es fanden sich zwar keine räumlichen oder regionalen Aktivierungsunterschiede, jedoch Abweichungen hinsichtlich der Intensität der Aktivierung im linken präfrontalen Cortex: Das Enkodieren der schwächer assoziierten Wörter führte offensichtlich zu einer höheren neuronalen Aktivität als das Einspeichern der enger verbundenen Wortpaare. Die Autoren schlussfolgerten aus diesem Ergebnis, dass die Aktivierung dieser Gehirnregion bei Assoziationsaufgaben bedeutet, dass Prozesse involviert sind, die während des Einspeicherungsvorgangs eine Verbindung des neuen Materials mit bereits vorhandenem Wissen bilden und folglich den Lernerfolg durch Assoziationsbildung unterstützen.

Einige bildgebende Studien weisen darauf hin, dass der präfrontale Cortex nicht nur beim Enkodieren von episodischen Inhalten aktiviert ist, sondern auch bei Arbeitsgedächtnisaufgaben (Nyberg et al., 2002; Rypma & D'Esposito, 2003; Narayanan et al., 2005; Blumenfeld & Ranganath, 2006). Einerseits deuten diese Befunde darauf hin, dass das episodische Gedächtnis und Arbeitsgedächtnis auf den selben neuronalen Prozessen beruhen, andererseits geben sie auch Hinweis darauf, dass das Arbeitsgedächtnis offensichtlich an der Bildung des Langzeitgedächtnisses beteiligt ist, da – wie schon erwähnt – während der Verarbeitung episodischen Materials die Intensität der Aktivierung im präfrontalen Cortex zum einen die Stärke der Assoziationsbildung vorhersagt und zum anderen insgesamt als Prädiktor für besseren oder erfolgreicherem Abruf nach einem entsprechenden Zeitintervall zu sein scheint (Blumenfeld & Ranganath, 2006). Dieses letztere Ergebnis lässt den Schluss zu, dass die Aktivierung des präfrontalen Cortex bereits während der Enkodierung durch gleichzeitig aktive Arbeitsgedächtnisprozesse die Bildung der Langzeiterinnerung unterstützt.

Darüber hinaus besteht die Erkenntnis aus Tierstudien, dass der mediale präfrontale Cortex beim Abruf von sowohl kürzlich erworbenen als auch länger zurückliegenden Gedächtnisinhalten eine Rolle spielt (Blum et al., 2006).

Zusammenfassend ist also ein unversehrter präfrontaler Cortex wichtig für episodische Gedächtnisprozesse bezüglich Enkodierung, Konsolidierung und Abruf und deren zugrunde liegenden Funktionen (beispielsweise ein funktionierendes Arbeitsgedächtnis). Jedoch ist diese Gehirnregion nicht als spezifisch für diese Vorgänge zuständig, sondern erfüllt darüber hinaus eine Vielzahl von weiteren Funktionen (z. B. sind auch die exekutiven Kontrollfunktionen, unter welche die kognitive Inhibition subsumiert ist, von intakter Frontalhirnfunktion abhängig). Somit gehört das episodische Gedächtnis zu den vielen Funktionsbereichen, die mit präfrontaler Aktivität verknüpft sind.

Aktivierungen im Hippocampus wurden bei den oben dargestellten Studien bereits erwähnt. Da diese Struktur auch hinsichtlich der Ergebnisse der vorliegenden Studie von Belang ist, werden im folgenden Abschnitt die Besonderheiten dieser und funktionell ähnlicher Regionen besonders beleuchtet.

### **3.3 Das hippocampale System – Hinweise auf ein präfrontal-limbisches Netzwerk**

Die Beteiligung von Frontallappen und Hippocampus an diversen Gedächtnisprozessen ist unterschiedlich; aus Überblicksarbeiten geht hervor, dass die frontalen Regionen dabei die Funktionen des Hippocampus ergänzen (Moscovitch & Winocur, 1992). Beim Menschen unterstützen der Hippocampus und die mit ihm verbundenen Strukturen des medialen Temporallappens das deklarative oder explizite Gedächtnis (Eichenbaum et al., 1996). Das explizite Gedächtnissystem setzt sich zusammen aus Arbeitsgedächtnis und episodischem Gedächtnis, ist also als übergeordnete Einheit mit seinen funktionellen Verknüpfungen für die vorliegende Studie von maßgeblicher Bedeutung. Die Studie von Eichenbaum und Mitarbeitern gibt Hinweise darauf, dass der cerebrale Cortex verschiedene Formen von Gedächtnisinhalten aufrecht erhält, während der Hippocampus und hippocampale Strukturen diese Inhalte organisieren und flexibel zugänglich erhalten und über die Zeit hinweg das Behalten der Erinnerungen ständig erweitern. Besonders für den letzteren Prozess scheint vor allem ein intakter Gyrus parahippocampalis erforderlich zu sein.

Desgranges et al. (1998) widmeten sich in ihrer Untersuchung der Rolle des hippocampalen Systems hinsichtlich des episodischen Gedächtnisses. Sie kamen zu dem Schluss, dass die besagte Formation eine Rolle sowohl beim Enkodieren als auch beim erfolgreichen Abrufen von Informationen spielt. Dennoch scheinen die exakten Zusammenhänge noch nicht vollständig geklärt. In einer neueren Arbeit von Moscovitch et al. (2006) zum episodischen, semantischen und räumlichen Langzeitgedächtnis wurde vor allem der Hippocampus als notwendige Region für länger zurückliegenden Informationen herausgearbeitet.

Dass erfolgreiches Enkodieren und Abrufen Aktivierungen in den hippocampalen Strukturen mit sich ziehen, wird auch von den Befunden anderer Autoren bestätigt: So fanden Meltzer und Constable (2005) beim Abruf einer Paarassoziationsaufgabe (ein Wort wird präsentiert, das dazu assoziierte soll abgerufen werden) stärkere Aktivierungen in den entsprechenden Regionen des medialen Temporallappens bei Probanden die erfolgreicher enkodiert hatten bzw. erfolgreicher abrufen konnten. Dieser Befund legt nahe, dass das Einspeichern von nicht-assoziierten Inhalten und das Erinnern an assoziative Gedächtnisinhalte als Funktionen eines integrierten Hippocampussystems betrachtet werden können.

### **3.4 Modellannahmen zum episodischen Gedächtnis: HIPER- und HERA-Modell**

Nach dem HIPER (Hippocampal Encoding/Retrieval) Modell von Lepage et al. (1998) geht man davon aus, dass unterschiedliche Regionen des Hippocampus beim Enkodieren bzw. Abrufen von episodischen Gedächtnisinhalten jeweils eine wichtige Rolle spielen. Die Autoren fanden metaanalytisch mittels 52 PET-Studien Hinweise darauf, dass dem rostralen Teil des Hippocampus beim Erlernen und Einspeichern von episodischem Material eine tragende Rolle zukommt, während sich beim Abruf episodischer Inhalte die neuronale Aktivierung eher auf kaudale Regionen beschränkt. Trotz dieser Vielzahl an Befunden gab es auch widersprüchliche Ergebnisse bezüglich der spezifischen Involvierung der Subregionen des medialen Temporallappens in Enkodier- und Abrufprozesse:

So entdeckten beispielsweise Dolan und Fletcher (1999) bei einer Gedächtnisaufgabe Aktivierungen, die darauf hindeuten, dass der linke anteriore Hippocampus sensitiv für Einspeicherungsprozesse ist, der posteriore Hippocampus zeigte sich hingegen am Abruf beteiligt. Jedoch gibt es ebenso Hinweise darauf, dass der posteriore Hippocampus bedeutend für die Enkodierung sein könnte (vgl. Fernández et al., 1998).

Generell scheint also der mediale Temporallappen beim episodischen Enkodieren und Abrufen involviert zu sein, nach einer Metaanalyse von Cabeza und Nyberg (2000) ist diese Region sowie auch der präfrontale Cortex von Bedeutung. Die Autoren fanden vor allem den linken Temporallappen bei verbalen Lernaufgaben beteiligt, bei non-verbalen entdeckten sie ein eher bilaterales Aktivierungsmuster. Darüber hinaus gibt es Hinweise darauf, dass ebenfalls beim verbalen assoziativen Enkodieren der Hippocampus bilateral beteiligt sein kann (Henke et al., 1999).

Die Widersprüche in den hier besprochenen Studien können auf Unterschiedlichkeiten in der Durchführung der einzelnen Paradigmen zurückzuführen sein. Sicher scheint jedoch, dass Substrukturen des medialen Temporallappens eine wichtige Rolle beim Enkodieren und Abspeichern spielen und somit notwendig für die Langzeitgedächtnisformation sind.

Das HERA (Hemispheric Encoding/Retrieval Asymmetry) Modell basiert ebenfalls auf Befunden aus PET-Studien (Tulving et al., 1994): Es besagt, dass linke und rechte präfrontale kortikale Areale unterschiedlich an episodischen (und auch semantischen) Gedächtnisprozessen beteiligt sind. Beim Enkodieren von episodischen Inhalten, vorrangig bei verbalem Material, wird präfrontal die linke Hemisphäre stärker beansprucht als die rechte, während sich beim Abruf von episodischer Information genau das umgekehrte Aktivitätsmuster zeigt. Einen Überblick über das HERA-Modell gibt Tabelle 1:

Tabelle 1: Hemisphärenspezifisches Aktivierungsmuster beim HERA-Modell (gilt hauptsächlich für verbales Material) nach Tulving et al. (1994)

<b>Gedächtnissystem</b>	<b>Enkodierung</b>	<b>Abruf</b>
Episodisches	Links > Rechts	Rechts > Links
Semantisches	(keine Aussage)	Links > Rechts

Bezüglich dieses Modells gibt es eine Fülle an bestätigenden Befunden (Dolan & Fletcher, 1997; Fletcher et al., 1995; Fink et al., 1996; Kelley et al., 1998; Shallice et al., 1994), jedoch auch hier lassen sich Studien anführen, die nicht mit dem HERA-Modell übereinstimmen. Beispielsweise fanden Iidaka et al. (2000) keine rechtsseitige präfrontale Aktivierung beim Abruf von episodischen Gedächtnisinhalten.

Auch bezüglich der beteiligten Hemisphären an episodischen Gedächtnisprozessen gibt es somit nicht nur einheitliche Befunde, dennoch scheint eine Fülle von Ergebnissen für die These von Tulving et al. (1994) zu sprechen, dass verbales episodisches Enkodieren eher linksseitige Aktivierungen hervorruft, während beim Abruf die andere Hemisphäre stärker beteiligt ist.

Das episodische Gedächtnis ist das Gedächtnissystem, das den stärksten altersassoziierten Abbau aufweist (Friedman et al., 2007). Gleichzeitig gehört es zu den vielen Gehirnfunktionen, die im Alter eine Minderung erfahren (vgl. Craik & Bialystok, 2006), ohne dass ein pathologischer Prozess zugrunde liegt. Deswegen wird im Folgenden allgemein auf den gesunden Altersprozess eingegangen, im Speziellen werden auch die Auswirkungen des Älterwerdens auf die kognitive Inhibition und das episodische Gedächtnis sowie die zugrunde liegenden neuronalen Prozesse beschrieben.

## **4. Der Altersprozess**

Im Allgemeinen nimmt die fluide Intelligenz beim gesunden Menschen im Alter ab (Craik & Bialystok, 2006). Während die kristallisierten erworbenen Fähigkeiten weitgehend konstant bleiben, möglicherweise sogar noch zunehmen, wie beispielsweise das Weltwissen oder der Wortschatz, ist das Potential zur Anwendung erlernter Befähigungen zum Lösen noch unbekannter Probleme, kurz die exekutiven Funktionen, einem progressiven Abbau unterworfen. Diese Funktionen, die auf neuronaler Ebene mit den Frontallappen assoziiert sind und deswegen auch teilweise als frontale Funktionen bezeichnet werden, unterliegen einem Abbauprozess, der sich im gesunden Altern vollzieht (vgl. West, 1996), je nach individueller Anlage unterschiedlich schnell, ohne dabei zu größeren oder sogar pathologischen Einbußen zu führen (Mielke et al., 1998). Auch die Kurzzeitgedächtnisleistung nimmt im Alter ab, während das Langzeitgedächtnis relativ stabil bleibt. Generell erfahren Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit sowie Reaktionsgeschwindigkeit im Allgemeinen eine altersbedingte Reduktion. Testverfahren, mit denen altersassoziierte meist subjektiv berichtete Beeinträchtigungen erfasst werden, sind hauptsächlich Gedächtnisaufgaben (Wortlisten, Wortpaare Lernen, Geschichte einprägen, etc.) und

---

Verfahren, welche die frontalen Funktionen überprüfen (strategische Aufgaben, lexikalische Wortflüssigkeit, Abstraktionsfähigkeit, etc.).

In der Gedächtnisforschung gibt es Hinweise darauf, dass im gesunden Altersprozess sowohl diejenigen Gehirnregionen, die Enkodierungsprozessen unterliegen, als auch diejenigen, die für Abruf und Wiedererkennen von Bedeutung sind, neuronale Veränderungen aufweisen: Zum einen sind das Veränderungen hinsichtlich der lokalen Aktivität in der entsprechenden Gehirnregion, was möglicherweise auf weniger effizientes Verarbeiten hinweist. Zum anderen bedeuten diese Veränderungen eine altersbedingte Aktivitätszunahme, was auf Kompensationsprozesse hindeuten könnte (Cabeza et al., 1997).

Einbußen im Kurzzeitgedächtnis konnten bislang in bildgebenden Studien insofern nachgewiesen werden, dass man altersbedingte Dysfunktionen in den entsprechenden Netzwerken, die für Enkodierungsprozesse verantwortlich sind, feststellte (Grady et al., 1999).

Neben den Defiziten im Enkodieren von neuer Information sind vor allem die oben schon erwähnten exekutiven Funktionen von altersassoziierten Veränderungen betroffen, zu denen auch Kontrollprozesse wie Inhibition und Interferenzmonitoring zählen. Während bei einfach strukturierten Interferenzaufgaben nur geringe Unterschiede zwischen älteren und jüngeren Probanden gefunden werden konnten, zeigten sich bei Aufgaben mit erhöhten Anforderungen hinsichtlich der selben Funktion Defizite bei den älteren (Stawski et al., 2006).

Jedoch gibt es auch Kontrollprozesse, die im gesunden Alter eher besser ausgeprägt sind als bei jüngeren Personen, dazu zählt beispielsweise die Regulation von Emotionen (Mather & Carstensen, 2005). Die Autoren konnten experimentell Hinweise darauf finden, dass ältere Probanden sich bei Stimuli verschiedener emotionaler Valenz einen größeren Anteil an positiven Stimuli einprägen konnten, als jüngere Teilnehmer das taten. Da man davon ausgeht, dass es vor allem aufgrund von erhöhter Selektivität, die durch die generell eingeschränktere kognitive Kapazität zu erklären ist, zu Einbußen hinsichtlich Gedächtnisleistungen und Exekutivfunktionen kommt (Raz et al., 1998), könnte diese Selektivität die erhöhte Fähigkeit zur Emotionsregulation erklären: Nur die Dinge, die angenehm sind, werden abgespeichert, aufgrund von verminderter Enkodierungskapazität wird der Rest vergessen. Hasselhorn und Behrendt (2003) sprechen in diesem Zusammenhang „von der Gnade des Vergessens“.



## 4.1 Kontrollprozesse im Altersverlauf

Die Frontallappen, die mit intakten Exekutivfunktionen assoziiert sind, sind diejenigen kortikalen Areale, die in der Kindheit als letzte voll entwickelt sind und mit die ersten, die im Alter Beeinträchtigungen zeigen. Deswegen wird erwartet, dass die frontal-gesteuerten Exekutivfunktionen in der Kindheit eine graduelle Entwicklung zeigen und im Alter eine ebenso graduelle Degeneration. Kognitive Kontrolle erreicht den Höchststand ihrer Entwicklung um die 20 („late teens, early twenties“, vgl. Craik & Bialystok, 2006) und nimmt im Alter ab. Diese Abnahme wird von diversen Faktoren modulierend beeinflusst: genetische Ausstattung, Gesundheit, Fitness und das Ausgesetztsein gegenüber traumatischen Erlebnissen, um ein paar offensichtliche Beispiele zu nennen (Craik & Bialystok, 2006).

Um Erinnerungen über längere Zeiträume im Gedächtnis verankern zu können und gleichzeitig jederzeit verfügbar zu haben, ist es für den Menschen essentiell notwendig über intakte Kontrollfunktionen zu verfügen: Diese sind nötig um zwischen wichtigen und unwichtigen, behaltenswerten und eher gern zu vergessenden Inhalten zu selektieren (vgl. Buckner, 2003). Somit kommt diesen Steuerungsprozessen eine bedeutende Rolle zu. ERP-Studien sowie Aufgaben zur Generierung von Antisakkaden bestätigen die Vermutung, dass die Inhibitionsfähigkeit im Alter nachlässt (Nessler et al., 2006), was im Abschnitt speziell zur kognitiven Kontrolle im Altersverlauf noch ausführlicher dargestellt wird.

Eenshuistra et al. (2004) fanden in einer neueren Studie heraus, dass ältere Probanden im Vergleich zu jüngeren nicht tatsächlich in der generellen Fähigkeit zu Sakkadeninhibition beeinträchtigt sind, sondern lediglich dann Defizite zeigen, wenn gleichzeitig die Arbeitsgedächtnisanforderungen steigen, wobei ähnliche Hirnareale beansprucht werden wie bei der Inhibitionsleistung per se. Erst durch diese gesteigerte Anforderung zeigen sich deutlich bereits vorhandene Defizite.

Auch die Kontrolle über das so genannte Metagedächtnis (entspricht nach Markowitsch, 1999, der „Fähigkeit, Einzelinformation über Konzeptbildungen durch das Wissen über etwas oder mittels Wissens, wie an abgespeicherte Information heranzukommen ist, wiederzuerlangen“), die zu den exekutiven Funktionen gezählt wird, weist im gesunden Alter eine Beeinträchtigung auf, die nach Souchay und Isingrini (2004) durch die exekutiven Einschränkungen, die mit dem Alterprozess verbunden sind, erklärbar sind. Zusätzlich weist die *Freedom-House-Study*, in deren Rahmen 547 ältere nicht-institutionalisierte gesunde Probanden auf ihre exekutiven Kontrollfunktionen untersucht wurden, darauf hin, dass eine hohe Prävalenzrate für Beeinträchtigung in diesem Bereich im Alter besteht (Royall et al.,

2004). Verhaeghen und Cerella (2002) hingegen fanden metaanalytisch keine altersbezogenen Veränderungen hinsichtlich selektiver Aufmerksamkeit jedoch eine generelle Verlangsamung bezüglich der kognitiven Flexibilität.

Wenn auch die hier dargestellten Befunde nicht vollständig in allen Einzelheiten übereinstimmen, so ist doch zusammenfassend festzustellen, dass exekutive Funktionen trotz inter- und intraindividuellem Unterschiede einem generellen altersassoziierten Abbau unterliegen.

## **4.2 Hypothese des frontalen Alterns**

Neuere neurologische Bildgebungsstudien geben Hinweise darauf, dass der präfrontale Cortex eine Gehirnstruktur darstellt, die besonders verletzlich für altersbedingten Abbau ist (West, 1996; Tisserand & Jolles, 2003; Grady et al., 2005).

MacPherson et al. (2002) spezifizierten diese Theorie noch dahingehend, dass nicht generell der Frontallappen altersbedingte Beeinträchtigungen aufweist, sondern speziell diejenigen Fähigkeiten eine Herabminderung erfahren, die mit dem dorsolateralen präfrontalen Cortex assoziiert sind. In ihrer Studie untersuchten die Autoren sowohl Funktionen, die mit diesem Areal in Verbindung gebracht werden, wie exekutive Funktionen und Arbeitsgedächtnis, als auch Funktionen, die mit dem ventrolateralen präfrontalen Cortex assoziiert sind. Darunter sind eher Aufgaben subsumiert, die Perspektivenübernahmefähigkeit, sowie die Fähigkeit, Emotionen in Gesichtsausdrücken zu erkennen (*task of emotion*) überprüfen. Diese letzteren Funktionen scheinen im gesunden Altern konstant intakt zu bleiben, altersassoziierte Unterschiede fanden sich lediglich in denjenigen Aufgaben, die mit dem dorsolateralen präfrontalen Cortex in Verbindung stehen.

## **4.3 Alter und episodisches Gedächtnis**

Wie schon erwähnt ist das episodische Gedächtnis jenes Gedächtnissystem, das den stärksten altersbezogenen Abbau aufzeigt (Friedman et al., 2007). Im Gegensatz dazu steht das semantische Gedächtnis (das Wissenssystem), das vergleichsweise länger resistent gegen altersassoziierte Veränderungen bleibt (Piolino et al., 2002; Nyberg & Tulving, 1996; Tulving, 1995). Festzustellen sind diese episodischen Einbußen beispielsweise anhand der

Schwierigkeiten von älteren Probanden, sich Wortlisten einzuprägen oder Assoziationen zwischen vordergründig unzusammenhängenden Inhalten zu bilden. Eine neuere EEG-Studie gibt Anlass zu der Annahme, dass die Abnahme des episodischen Gedächtnisses im Alter mehr auf Enkodierungsproblemen als auf Abrufdefiziten beruht (Friedman et al., 2007).

Zusätzlich spielt bei episodischen Erinnerungen die jeweilige Einbettung in einen zeitlichen und räumlichen Kontext eine wichtige Rolle, da eben diese Kontextinformationen dieses Gedächtnissystem als „episodisches“ definieren (siehe Kapitel 3.1). In frühen Studien zur Kontextintegration beim Gedächtnisabruf fanden sich Ergebnisse, die darauf hindeuten, dass ältere Personen im Vergleich zu jüngeren eher Schwierigkeiten haben, Kontexte beim Abruf von Bildern oder Zeichnungen zu integrieren und davon zu profitieren (Smith et al., 1998; Earles et al., 1996). Nun weisen die Resultate einer neueren Studie von Kessels et al. (2007) darauf hin, dass bei älteren Probanden im Vergleich zu jüngeren ein Defizit im Abruf von Kontextinformationen und in der Verknüpfung von multiplen Informationen besteht. Diese selektiven episodischen Einbußen könnten nach Meinung der Autoren die Grundlagen für eine generell niedrigere Gedächtnisleistung hinsichtlich episodischen Materials darstellen.

Diese Befunde werden von einer Studie unterstützt, in deren Rahmen ältere und jüngere Teilnehmer in einem autobiographischen Interview fünf Episoden aus ihrem Leben berichten sollten (Levine et al., 2002). Während die jüngeren hauptsächlich episodische Informationen wie Orte und spezielle Ereignisse erzählten, berichteten die älteren semantische Details ohne zeitlichen oder örtlichen Bezug. Diese Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass im Lauf des Altersprozesses möglicherweise semantische Details besser abrufbar bleiben als komplette episodische Erinnerungen.

Wie auch die Defizite im Arbeitsgedächtnis ist die Dysfunktion hinsichtlich des episodischen Gedächtnisses mit Veränderungen im präfrontalen Cortex in Verbindung gebracht worden (beispielsweise Langley & Madden, 2000). Auch Rajah und D'Esposito (2005) untersuchten metaanalytisch die neurofunktionalen Korrelate bei älteren Personen hinsichtlich des episodischen und des Arbeitsgedächtnisses mittels PET und fMRT. Anhand ihrer Studienergebnisse vertreten Rajah und D'Esposito die These, dass im normalen Altern Defizite in der Funktion des rechten dorsalen und anterioren präfrontalen Cortex auftreten und durch erhöhte Aktivierung des linken dorsalen präfrontalen sowie auch des anterioren

präfrontalen Cortex kompensierbar sind. Diese Kompensationsprozesse werden am Ende des folgenden Abschnittes noch genauer beschrieben.

#### **4.4 Alter und kognitive Kontrolle**

Wie vorangehend dargestellt, nehmen die Exekutivfunktionen im gesunden Alter an Effektivität ab, somit ist auch die Fähigkeit zur willentlichen Suppression oder Inhibition, sei es motorisch oder kognitiv, von altersbedingten neuronalen Veränderungen betroffen.

Bereits 1992 beschrieb Dempster in einer Übersichtsarbeit die Inhibitionsfähigkeit oder auch Resistenz gegen Interferenz als bedeutenden kognitiven Mechanismus, der bei Kleinkindern, älteren gesunden Personen und Patienten mit Läsionen in den Frontallappen zu ähnlichen Ergebnissen in Testverfahren, die für Interferenzanfälligkeit sensitiv sind, führt. Dieser Inhibitionsmechanismus ist insofern evolutionär hoch interessant, als er im Lauf der Hirnentwicklung zu den Funktionen gehört, die als letzte voll entwickelt sind, und im Alter zu den ersten zählt, die Beeinträchtigung aufweisen. Zusätzlich ist bei der Inhibition von Impulsen oder Antworten auch die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses von Bedeutung.

Wie bereits erwähnt weisen neuere Befunde darauf hin, dass die Inhibitionsfähigkeit sich erst beeinträchtigt zeigt, wenn gleichzeitig eine hohe Anforderung an das Arbeitsgedächtnis besteht (Eenshuistra et al., 2004). Zusätzlich gibt es Hinweise darauf, dass bei hoher Anforderung der dorsolaterale präfrontale Cortex involviert ist, der ja besonders anfällig für altersassozierten Abbau zu sein scheint, während der ventromediale Cortex nur bei geringerer Anforderung beteiligt ist, jene Region, die für den Abbau im Alter weniger bis gar nicht anfällig ist (Martin et al., 2006; Eenshuistra et al., 2004).

Auch Gazzaley et al. (2005) kamen in ihrer Untersuchung zu dem Ergebnis, dass beeinträchtigte Suppression mit einer Dysfunktion des Arbeitsgedächtnisses korreliert ist. Es scheint also so zu sein, dass intakte Inhibition nur auf Grundlage eines intakten Arbeitsgedächtnisses funktionieren kann und bei zu hohen Anforderungen an selbiges abnimmt, während Defizite in der Inhibition durchaus allein ohne Arbeitsgedächtnisdefizite vorkommen können.

Diese Annahme bestätigen die Befunde von beispielsweise Sweeney et al. (2001): Sie fanden in einer Antisakkadenaufgabe eine signifikant reduzierte Fähigkeit bei den älteren

---

Teilnehmern, die Augenbewegungen willentlich zu inhibieren, während sie in der Arbeitsgedächtnisaufgabe genauso gut wie die jüngeren Teilnehmer abschnitten.

Nach der Arbeitsgruppe um Hasher scheint auch umgekehrt eine Beeinträchtigung in der Inhibitionsfähigkeit weitere kognitive Funktionen zu beeinflussen, unter anderen auch das Arbeitsgedächtnis (Hasher et al., 1991). In weiteren Studien kamen die Autoren zu dem Schluss, dass generell ein Inhibitionsdefizit im gesunden Altersverlauf besteht, wie die Ergebnisse der Studien zu Antisakkaden (Butler & Zacks, 2006), zu *Directed Forgetting* Aufgaben (Zacks et al., 1996) und Distraktorsuppression (Kane et al., 1994) nahe legen. Die älteren Probanden produzierten langsamere Antisakkaden als die jüngeren, erinnerten sich an mehr Wörter, die eigentlich vergessen werden sollten und zeigten keinen Inhibitionsmechanismus bei der Suppression von Distraktorstimuli. Somit fand sich in den drei hier zitierten Studien jeweils ein relatives Inhibitionsdefizit in der älteren Stichprobe.

Auch Valeriani et al. (2003) schlussfolgerten aus ihren Ergebnissen, dass die inhibitorische Kontrolle von Aufmerksamkeitsmechanismen im Alter abnimmt. In ihrer EEG-Studie untersuchten die Autoren somatosensorisch evozierte Potentiale während einer neutralen und einer selektiven Aufmerksamkeitsbedingung und einer Distraktorbedingung. Die älteren Probanden zeigten sich hier unfähig, ihre Aufmerksamkeit während der Distraktorbedingung zu fokussieren.

Bezüglich der Unterschiede hinsichtlich der neuronalen Aktivierung während einer Inhibitionsaufgabe zwischen jüngeren und älteren gesunden Probanden gibt es eine neuere Studie von Nielson et al. (2004). Während einer Untersuchung mit funktioneller Magnetresonanztomographie absolvierten die Teilnehmer eine Aufgabe zu inhibitorischer Kontrolle. Die älteren Probanden zeigten insgesamt eine stärkere Gehirnakтивierung bei – im Vergleich zu den jüngeren – einem eher bilateralen Muster an Aktivität. Einerseits gibt dieses Ergebnis Hinweise darauf, dass die Defizite in der Inhibition nicht mit verminderter Hirnaktivität in Verbindung stehen, die beispielsweise durch vaskuläre Erkrankungen bedingt sein könnte, sondern tatsächlich eine Dysfunktion darstellen bei intakter genereller hämodynamischer Leistung. Andererseits gibt dieses Resultat Anlass dazu, davon auszugehen, dass im Vergleich von älteren und jüngeren Probanden die funktionelle Magnetresonanztomographie eine geeignete Untersuchungsart der Gehirnaktivität ist, was auch für die vorliegende Arbeit von Belang ist.

Des Weiteren sind diese Befunde in Einklang mit der Kompensationshypothese von Cabeza et al. (2002), die im Abschnitt zu generellem altersbedingtem Abbau bereits angedeutet wurde: In der entsprechenden Studie fand sich für den Abruf und das Quellengedächtnis (*source memory*) von kurz vorher gelernten Wörtern bei jüngeren Probanden eine erhöhte rechtshemisphärische präfrontale Aktivierung im Vergleich *recall – source memory*. Bei älteren Probanden, die jedoch ein niedriges kognitives Leistungsniveau in Hinblick auf die Performanz aufwiesen, zeigte sich eine ähnliche Aktivierung, während die älteren Probanden mit eher hohem kognitiven Leistungsniveau eine bilaterale Aktivität im präfrontalen Cortex zeigten. Cabeza und Mitarbeiter zogen aus ihren Ergebnissen den Schluss, dass ältere Probanden, die noch über ein hohes allgemeines kognitives Niveau verfügen, in der Lage sind, durch Reorganisation von anderen Gehirnregionen beginnende Defizite auszugleichen.

Dieser Befund wird im HAROLD-Modell (Hemispheric Asymmetry Reduction in OLder Adults) genauer spezifiziert (Cabeza, 2002): Dieses Modell wird von Befunden aus neuropsychologischen und bildgebenden Verfahren unterstützt und gibt Anlass zu der Vermutung, dass eine altersassoziierte Reduzierung der asymmetrischen Gehirnaktivierung, wie man sie bei jüngeren Probanden findet, entweder ein Kompensationsprozess sein könnte oder eine altersbezogene geringere Differenziertheit bezüglich der speziellen Funktionsareale widerspiegelt.

Insgesamt scheint es sich so zu verhalten, dass die Aktivierungsunterschiede zwischen jüngeren und älteren Probanden prozess- und regionspezifisch sind und sich sowohl in einer Zunahme wie auch Abnahme der neuronalen Aktivität zeigen können (siehe auch Cabeza et al., 2000).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass nicht alle kognitiven Funktionen gleichermaßen vom altersbedingtem Abbau beeinträchtigt sind. Darüber hinaus ist grundsätzlich eine höhere Bildung ein mildernder Faktor bezüglich der Einbußen in unterschiedlichen Aufgaben (Ritchie et al., 1997).

Generell gibt es also eine Fülle von Befunden, aus denen deutlich wird, wie wichtig und interessant es ist, Gedächtnis- und Regulationsprozesse bei jungen gesunden Menschen genauer zu erforschen. Von ebenfalls hoher Relevanz ist die Altersforschung, innerhalb derer auch der gesunde Altersvorgang bislang nicht ausreichend untersucht wurde. In der vorliegenden Arbeit werden einerseits episodisch-assoziative Gedächtnisprozesse (Enkodieren und Abrufen mittels Assoziationsbildung) von jüngeren und älteren gesunden

Probanden auf Verhaltens- und neuronaler Ebene verglichen. Andererseits wird auch einem speziellen Kontrollprozess, nämlich der willentlichen kognitiven Gedankeninhibition besondere Aufmerksamkeit gewidmet und dessen Auswirkungen auf das episodische Gedächtnis analysiert. Gleichzeitig werden bezüglich dieses Aspekts die Daten von jüngeren und älteren Teilnehmern verglichen. Zum Schluss wird noch auf die Zusammenhänge zwischen kognitiver Inhibition und intakter präfrontaler Hirnfunktionsleistung eingegangen, diese werden ebenfalls bezüglich der altersassoziierten Veränderungen untersucht.

Im nächsten Abschnitt werden kurz die Ergebnisse der Originalstudien vorgestellt (Anderson & Green, 2001; Anderson et al., 2004a), bevor die Fragestellung für die präsentierte Studie formuliert wird.

## 5. Die Originalstudie

### 5.1 Ergebnisse der Originalstudie

Die Arbeit bezieht sich wie bereits erwähnt auf eine Studie von Anderson und Green (2001): Die Autoren entwickelten ein so genanntes *think/no-think* Paradigma, mit dem sie die behaviorale und neuronale Grundlage der aktiven Suppression untersuchten. Das Paradigma ist ähnlich konfiguriert wie die bekannten *go/no-go* Aufgaben zur Überprüfung der motorischen Inhibitionsfähigkeit. Meistens gilt es dabei auf einen häufigen Reiz zu reagieren, während bei einem eher seltenen Reiz die motorische Antwort – meistens in Form eines Tastendrucks – inhibiert werden soll.

So soll mittels des *think/no-think* Paradigmas nicht das Unterdrücken einer motorischen Antwort getestet werden, sondern die Inhibition der Erinnerung an vorher enkodierte Gedächtnisinhalte.

Anderson und Green (2001) konnten in ihrer Untersuchung einen Suppressionseffekt zeigen. Die Probanden dieser Untersuchung (gesunde Studenten,  $n = 32$ ) enkodierten zu Beginn Wortpaare (z. B. Rechnung – Fliege), die sie so lernten, dass sie bei Präsentation des linken Wortes das rechte korrekt ergänzen konnten (episodisch-assoziatives Lernen). In der *think/no-think* Aufgabe wurde ein Teil der Wörter bei Präsentation des linken Wortes weiterhin erinnert (Response), ein zweiter Teil sollte supprimiert werden (Suppression) und ein dritter

Teil der Wörter wurde in dieser Aufgabe nicht verwendet. Im finalen Abruf, in dem alle Wortpaare aller drei Bedingungen wieder richtig ergänzt werden sollten, fanden die Autoren, dass signifikant weniger Wörter der Suppressionsbedingung richtig ergänzt werden konnten als Items der Response- und sogar der Baselinebedingung.

Nun kann die Tatsache, dass die Responseitems zum Schluss noch gut gewusst werden, auch auf einen Übungseffekt zurückzuführen sein, der durch die ständige Wiederholung dieser Items während der *think/no-think* Aufgabe entsteht. Hier ist der Unterschied zu den Suppressionsitems also nicht allein der Suppression, sondern vermutlich stärker der wiederholten Übung zuzuschreiben. Die Baselineitems jedoch, die während der *think/no-think* Aufgabe nicht vorkommen, sollen den Umfang des normalen Vergessens – vergleichbar zu einer Gedächtnisaufgabe mit verzögertem Abruf – repräsentieren. Da also auch die Wörter, die diesem Prozess des normalen Vergessens über die Zeit hinweg unterliegen, noch signifikant besser abgerufen wurden als die Wörter, die aktiv supprimiert werden sollten, lag nach Anderson und Green (2001) hier tatsächlich ein deutlicher Suppressionseffekt vor.

Die Autoren fanden diesen Unterschied bei zwei verschiedenen Arten, die Wörter im finalen Abruf abzufragen: Die erste Art des Abrufs, die auch in der vorliegenden Arbeit eingesetzt wird, wurde von Anderson und Green als *same-probe* bezeichnet, hier wurde wie beim Lernen das linke Wort pro Wortpaar gezeigt und sollte ergänzt werden (z. B. Rechnung). Im Gegensatz dazu, wurde bei *independent-probe* die übergeordnete Kategorie und der Anfangsbuchstabe vorgegeben (z. B. Insekt – F). Der Argumentation der Autoren folgend sollte somit überprüft werden, dass nicht nur die Assoziation zwischen den beiden Wörtern gelöscht, sondern tatsächlich das Wort selbst vergessen wurde.

Um nun die neuronalen Grundlagen der willentlichen Suppression genauer zu untersuchen führte die Arbeitsgruppe um Anderson drei Jahre später das *think/no-think* Paradigma während einer Untersuchung mit funktioneller Magnetresonanztomographie durch (Anderson et al., 2004a). An dieser Untersuchung nahmen als Probanden wieder gesunde Studenten teil, diesmal 24 Personen. Auch hierbei fanden sich auf behavioraler Ebene dieselben Ergebnisse wie 2001, mit einem signifikanten Suppressionseffekt verglichen mit normalem Vergessen über die Zeit.

Zusätzlich entdeckten die Autoren die folgenden Aktivierungsmuster: Während der Suppressionsbedingung war ein frontales Netzwerk aktiver als während der Responsebedingung, einschließlich prämotorischer Areale sowie des dorsolateralen



präfrontalen Cortex, in welchen man bei motorischen Inhibitionsaufgaben gesteigerte Aktivität findet (Casey et al., 1997). Zusätzlich waren weitere Gehirnregionen involviert, die generell bei inhibitorischen Vorgängen eine Rolle spielen, beispielsweise der anteriore cinguläre Cortex. In der Suppressions- verglichen mit der Responsebedingung fand sich hingegen auch eine verminderte Aktivität im Hippocampus und zwar bilateral. Diese Minderaktivierungen lassen Schlüsse darauf zu, dass der Hippocampus, der ja beim erfolgreichen Abruf von Gedächtnisinhalten eine Rolle spielt, während des Supprimierens deutlich weniger aktiviert ist als während des Abrufs. Einen genauen Überblick über die aktivierten und deaktivierten Areale in der Studie von Anderson et al. (2004a) bietet das Online Support Material S. 5 (Science Online Supplement: Anderson et al., 2004b).

## 5.2 Rezeption und Replikation

Zeitnah zur Publikation der Originalarbeit von Anderson und Green (2001) in der Zeitschrift Nature, erschienen die Kommentare zweier Gedächtnisforscher (Conway, 2001; Schacter, 2001). Conway und Schacter zeigten sich in ihren Artikeln beeindruckt von den experimentellen Ergebnissen zur kognitiven Inhibition, äußerten sich jedoch zurückhaltend zu der Analogie zur Freud'schen Repression, welche Anderson und Green in ihrem Artikel beschrieben. Ebenfalls kritisch wurde die Frage behandelt, inwiefern sich die Resultate der Studie auf emotionale Inhalte übertragen lassen. Trotz der Kritik ist der Ton dieser beiden Rezeptionen ein positiver, die Ergebnisse werden als „wertvoller Schritt“ (Schacter, 2001) in der Untersuchung von inhibitorischer Kontrolle bewertet.

In der weiteren Debatte um Andersons Forschung (Anderson & Green, 2001; Levy & Anderson, 2002) ging es weniger um den Suppressionseffekt an sich, sondern vielmehr um die Unterschiede zwischen der Repression, die unwillkürlich stattfindet und dem von Anderson betrachteten Prozess, der sich als ein willentlicher definiert (Kihlstrom, 2002). Dieser Aspekt ist jedoch von geringer Relevanz für die vorliegenden Arbeit und wird deswegen nicht näher behandelt. Im Anschluss an diese Rezeptionen erschienen einige Studien, in denen das *think/no-think* Paradigma auf Verhaltensebene eingesetzt wurde.

Die Ergebnisse dieser Replikationsversuche sind bisher uneinheitlich: Während die meisten Forscher die Ergebnisse von Anderson und Green (2001) nicht replizieren konnten, gelang es Wessel et al. (2005) zumindest mittels des Abrufs mit *same-probe* die Resultate aus der Originalstudie zu replizieren, mittels *independent-probe* konnten die Autoren keinen

Suppressionseffekt nachweisen. Hertel und Gerstle (2003) setzten das Paradigma unter leicht veränderten Bedingungen (emotionale Schlüsselwörter) ein. Die Autoren entdeckten keinen signifikanten Suppressionseffekt mittels *same-probe*. Der Abruf mit *independent-probe* kam in dieser Arbeit nicht zum Einsatz. In der bereits erwähnten Studie von Hertel und Calcaterra (2005) fand sich ein Suppressionseffekt nur dann, wenn die Probanden während der *no-think* Bedingung abgelenkt waren und explizit an ein anderes Wort als das gelernte Zielwort dachten. Ohne Ablenkung fand sich kein Suppressionseffekt im *same-probe* Abruf (*independent-probe* kam nicht zum Einsatz).

Die anschließende Arbeit von Anderson et al. (2004a) erregte ebenfalls öffentliches Aufsehen. Ein Jahr nach der Veröffentlichung fand sich auf einer wissenschaftlichen Internetseite des österreichischen Senders ORF ein Beitrag dazu (Wieselberg, 2005), aber auch in Fachkreisen wurden die Ergebnisse als bedeutend für die Gedächtnisforschung rezipiert (Miller, 2004). Bislang liegt meines Wissens keine Arbeit vor, in der die neurofunktionellen Ergebnisse von Anderson et al. (2004a) repliziert werden konnten bzw. existiert kein veröffentlichter Versuch, die neuronalen Korrelate der *think/no-think* Aufgabe mit funktioneller Magnetresonanztomographie abzubilden.

## 6. Schlussfolgerungen und Hypothesen für die eigene Arbeit

Anderson und Green (2001) beschrieben zwar den von ihnen beobachteten inhibitorischen Vorgang als exekutiven Prozess, dennoch unternahmen sie keine weiteren Untersuchungen der Exekutivfunktionen bei den Studienteilnehmern. Deswegen wurde in der vorliegenden Arbeit zusätzlich zu einer selbst entwickelten deutschen Variante des *think/no-think* Paradigmas eine ausführliche neuropsychologische Untersuchung mit Fokus auf die exekutiven Leistungen durchgeführt. Somit sollte gewährleistet werden, dass die grundlegende Fähigkeit jedes einzelnen Teilnehmers, frontallhirn-assoziierte Kontrollprozesse auszuüben, vorhanden ist.

Um weiterhin beobachten zu können, ob sich mittels des Paradigmas ein Alterseffekt auf die Suppressionsleistung beobachten lässt, wurde die Studie mit zwei Gruppen von Teilnehmern durchgeführt: 15 jüngere (im Alter zwischen 20 und 30) und 15 ältere (ab 55 Jahre) gesunde

Probanden nahmen daran teil. Zusätzlich, um eine Aussage hinsichtlich der neurofunktionellen Grundlagen treffen zu können, wurde die kritische *think/no-think* Aufgabe entsprechend des Untersuchungsablaufs bei Anderson et al. (2004a) bei beiden Probandengruppen während einer Untersuchung mittels fMRT durchgeführt.

Die eigene Studie beinhaltet somit zwei wichtige und neue Aspekte: Einerseits soll innerhalb der uneinheitlichen Forschung um die willentliche Suppression eine weitere Arbeit unter der Einbeziehung von bildgebenden Verfahren die Ergebnisse der beiden Anderson-Studie erneut empirisch überprüfen. Durch die integrative Interpretation von Verhaltens- und fMRT-Daten werden präzise Aussagen über die Existenz eines Kontrollprozesses während der *no-think* Bedingung ermöglicht. Andererseits leistet die Arbeit einen wesentlichen Beitrag zur Altersforschung durch die Erweiterung der Studie um eine Stichprobe von älteren Personen. Gerade Gedächtnisfunktionen, die mit intakten exekutiven Kontrollfunktionen im Zusammenhang stehen, zeigen sich, wie in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben wurde, bereits im gesunden Alter beeinträchtigt. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit sollen deshalb einen Beitrag zur genaueren Erforschung der zugrundeliegenden neurofunktionellen Vorgänge leisten. Dazu gibt es, wie in Abschnitt 4 bereits gezeigt wurde, eine Fülle von Befunden, dennoch wurde bislang meines Wissens keine Untersuchung mittels des *think/no-think* durchgeführt, um spezielle, der Inhibition episodisch-assoziativer Gedächtnisinhalte zugrundeliegende, neurofunktionelle Grundlagen genauer zu untersuchen.

Somit ergaben sich für die vorliegende Arbeit die folgenden Hypothesen:

1. Die behavioralen Ergebnisse von Anderson und Green (2001) und Anderson et al. (2004a) sind in Anlehnung an Wessel et al. (2005) mittels *same-probe* in einer Gruppe von jungen gesunden Probanden replizierbar.
2. Eine zusätzlich untersuchte Gruppe von älteren Probanden zeigt bezüglich des Suppressionseffektes eine weniger deutliche Differenz zwischen der Baseline- und der Suppressionsbedingung als die Gruppe der jüngeren.
3. Generell findet sich bezüglich der Lern- und der Abrufleistung ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen: Die älteren lernen nicht nur langsamer, sondern zeigen darüber hinaus auch eine niedrigere allgemeine Gedächtnisleistung für episodisches neutrales Material.

4. Die älteren Probanden zeigen in der neuropsychologischen Testbatterie relative abbaubezogene Defizite verglichen mit den jüngeren hinsichtlich folgender Parameter:
  - a) Geschwindigkeit
  - b) Arbeitsgedächtnis
  - c) Exekutivfunktionen
5. Die fMRT-Ergebnisse von Anderson et al. (2004a) sind innerhalb einer Gruppe von jungen gesunden Probanden replizierbar.
6. Die älteren Probanden zeigen in den fMRT-Daten eine eher unspezifische Aktivierung. Damit ist gemeint, dass sie bezüglich der aufgabenrelevanten Strukturen für die Suppressionsbedingung im dorsolateralen präfrontalen Cortex eine regional geringere Aktivierung im Vergleich zu den jüngeren aufweisen, dafür generell mehr Areale im übrigen präfrontalen Cortex aktivieren, entsprechend der Kompensationstheorie von Cabeza et al. (1997).

In Kapitel II werden nun die demographischen Merkmale der beiden eingeschlossenen Probandenstichproben, sowie die Methoden der Erstellung einer deutschen Version des Paradigmas und die eingesetzten Verfahren und Fragebögen beschrieben. Darauf folgend werden in Kapitel III die Ergebnisse der Studie präsentiert und in Hinblick auf die Theorie in Kapitel IV diskutiert.

---

## II. Methoden

Von allen selbst erstellten und in der Arbeit eingesetzten Fragebögen und experimentellen Verfahren findet sich ein Exemplar im Anhang, bei den standardisierten und publizierten neuro- und testpsychologischen Verfahren wird der entsprechende Literaturhinweis gegeben.

### 1. Stichprobenbeschreibung

An der vorliegenden Studie, die neben dem *think/no-think* Paradigma, welches hier während einer MRT-Untersuchung durchgeführt wurde, zusätzlich eine umfangreiche neuropsychologische Testbatterie beinhaltete, nahmen insgesamt 30 vom psychologischen und neurologischen Standpunkt gesunde Versuchspersonen teil. Diese Personengruppe setzte sich wie folgt zusammen:

- ✓ 15 gesunde jüngere Probanden (davon 13 weiblich) im Alter von 21 bis 27 Jahren (Median = 24 Jahre) und
- ✓ 15 gesunde ältere Probanden (davon zehn weiblich) im Alter von 55 bis 71 Jahren (Median = 65 Jahre).

Die 15 jüngeren Teilnehmer wurden über Aushänge im geisteswissenschaftlichen und im pädagogischen Institut der Ludwig-Maximilians-Universität rekrutiert, die 15 älteren Versuchspersonen über das Verteilen von Broschüren (alle verwendeten Texte und Materialien befinden sich beispielhaft im Anhang) in Veranstaltungen im Rahmen des Seniorenstudiums der LMU, bei einer Seniorenmesse im April 2006 im Messezentrum M,O,C München, sowie in verschiedenen Seniorenzentren Münchens (Alten- und Servicezentrum der Landeshauptstadt München).

Vor der Untersuchung wurde sicher gestellt, dass keiner der Teilnehmer zum Zeitpunkt der Studienteilnahme Medikamente einnahm, die möglicherweise das Zentralnervensystem beeinflussen. Darüber hinaus berichteten alle Probanden, sich derzeit in guter psychischer und physischer Verfassung zu befinden. Zusätzlich wurde vor der MRT-Untersuchung überprüft,

ob die Probanden Metallteile im oder am Körper trugen (beispielsweise Herzschrittmacher) und ob eine Schwangerschaft vorlag. Gegebenenfalls wurden die Probanden von der Teilnahme ausgeschlossen.

Um pathologische altersassoziierte Veränderungen im Sinne einer Alzheimer Demenz auszuschließen, wurde vor Beginn der Untersuchung mit allen Teilnehmern der älteren Probandengruppe der *Mini Mental Status Test* (Folstein et al., 1975) durchgeführt. Mittels dieses Kurzverfahrens wurde der kognitive Status der Teilnehmer überprüft. Nur Probanden, die hier Werte oberhalb des Cut-Off-Werts von 26 Punkten erreichten, wurden in die Studie eingeschlossen.

Darüber hinaus wurden generell nur Probanden in die Studie aufgenommen, die entsprechend ihrer Altersgruppe keine auffälligen Werte in der neuropsychologischen Testbatterie erzielten und im *Wortschatztest* WST (Schmidt & Metzler, 1992) einen IQ von mindestens 85 erreichten. Um speziell die Gedächtnisleistungen bei den älteren Probanden zu überprüfen dienten einige Untertests der *Wechsler Memory Scale – Revised* (deutsche Adaptation: *Wechsler Gedächtnis Test – Revidierte Fassung*), WMS-R (Härting et al., 2000) nämlich *Figurales Gedächtnis*, *Logisches Gedächtnis I und II*, *Verbales Gedächtnis I und II* sowie *Visuelles Gedächtnis I und II*, aus welchen die Indexwerte für verbales, visuelles, allgemeines und verzögertes Gedächtnis berechnet werden, als Ein- bzw. Ausschlussverfahren für diese Stichprobengruppe. Es wurden nur Personen in die Studie eingeschlossen, die hinsichtlich der Indexwerte nicht mehr als eine Standardabweichung (15 Indexwertpunkte) unter dem Mittelwert von 100 lagen. Ein Wert <85 würde einer auffälligen Leistung entsprechen. Einen Überblick über die erreichten Werte in den entsprechenden Verfahren gibt Tabelle 2, eine Auflistung der Rohwerte befindet sich in Tabelle 24 im Anhang.

Tabelle 2: Ergebnisse der älteren Probanden in den Screeningverfahren

Testverfahren	ältere Probanden		Cut-Off-Score
	M	SD	
WMS Index verbales Gedächtnis	117,8	15,99	< 85
WMS Index visuelles Gedächtnis	121,7	7,66	< 85
WMS Index allgemeines Gedächtnis	123,9	14,32	< 85
WMS Index verzögertes Gedächtnis	119,9	13,29	< 85
Mini Mental State	29,47	0,74	< 27

Anmerkungen: Angegeben wurden die Mittelwerte und Standardabweichungen der umgerechneten Indexwerte, sowie die Cut-Off-Scores.

Wie Tabelle 3 zeigt, waren sich die beiden Gruppen hinsichtlich der Anzahl der Schuljahre und hinsichtlich des mittleren Verbal-IQs, der mit dem Wortschatztest des HAWIE-R (Tewes, 1991) gemessen wurde, sehr ähnlich. Auch hinsichtlich der Verteilung von Schulbildung und Geschlecht unterschieden sich die Gruppen nicht signifikant. Alle Teilnehmer waren rechtshändig, was mit der Händigkeitsskala von Chapman und Chapman (1987) überprüft worden war.

Tabelle 3: Demographische Daten der Studienteilnehmer

	jüngere Probanden (n = 15)		ältere Probanden (n = 15)		t-Test
	M	SD	M	SD	
Alter (Jahre)	23,53	2,26	64,73	4,04	$p \leq 0,001$
Wortschatztest HAWIE-R	27,33	2,16	28,00	2,42	$p = 0,433$
	Verteilung				$\chi^2$
Schulbildung (AB; MR)	15; 0		12; 3		$p = 0,068$
Geschlecht (m; w)	3; 12		5; 10		$p = 0,409$

Anmerkungen: Chi-Quadrat nach Pearson wurde für die Häufigkeitsverteilung von Schulbildung und Geschlecht kalkuliert. (AB = Abitur; MR = mittlere Reife, m = männlich, w = weiblich).

## 2. Untersuchungsverfahren

Die neuropsychologischen Daten wurden mit standardisierten Verfahren erhoben (Lezak et al., 2004). Zusätzlich wurden selbst entwickelte und experimentelle Verfahren eingesetzt (*Kontrollfragebogen zur subjektiven Suppressionseinschätzung*, *Emotionales Stroop Paradigma*, *think/no-think Paradigma*). Eine komplette Übersicht über alle eingesetzten Verfahren bietet Tabelle 4:

Tabelle 4: Auflistung der eingesetzten Verfahren

Parameter	Verfahren	Autoren	Testart
<b>1. Fragebögen</b>			
Ausschluss psych. Vorerkrankung	SKID I und II	Wittchen et al. (1997)	Papier- und Bleistift Test
Ängstlichkeit	STAI	Laux et al. (1981)	Papier- und Bleistift Test
Suppressionsüberzeugung	KSSE	selbst erstellt	Papier- und Bleistift Test
<b>2. Neuropsychologische Testverfahren</b>			
Gedächtnis verbal und nonverbal	Wechsler Gedächtnis Test – Revidierte Fassung: Subtest Figurales Gedächtnis Subtests Logisches Gedächtnis I und II Subtests Verbales Gedächtnis I und II Subtests Visuelles Gedächtnis I und II	Härting et al. (2000)	Papier- und Bleistift Tests
Aufmerksamkeitsspanne	Wechsler Gedächtnis Test – Revidierte Fassung: Subtests Zahlennachsprechen vorwärts und rückwärts Blockspanne vorwärts und rückwärts	Härting et al. (2000)	Papier- und Bleistift Test
Wahrnehmungsgenauigkeit; Unterscheidung zwischen wichtigen und unwichtigen Details	Hamburg-Wechsler-Intelligenztest für Erwachsene - Revidierte Version Subtest Bilderergänzen	Tewes (1991)	Papier- und Bleistift Test
Erfassung komplexer Handlungszusammenhänge in ihrer zeitlichen Reihenfolge; Logisches Denken	Hamburg-Wechsler-Intelligenztest für Erwachsene - Revidierte Version Subtest Bilderordnen	Tewes (1991)	Papier- und Bleistift Test
Verbale Ausdrucksfähigkeit; Fähigkeit Wortbedeutungen zu erfassen	Hamburg-Wechsler-Intelligenztest für Erwachsene – Revidierte Version Subtest Wortschatztest	Tewes (1991)	Papier- und Bleistift Test
Visuell-analytische Wahrnehmung, abstraktes Problemlösen	Hamburg-Wechsler-Intelligenztest für Erwachsene – Revidierte Version Subtest Mosaiktest	Tewes (1991)	Papier- und Bleistift Test
Rechenfähigkeit, logisches Denken, Konzentration	Hamburg-Wechsler-Intelligenztest für Erwachsene – Revidierte Version Subtest Rechnerisches Denken	Tewes (1991)	Papier- und Bleistift Test
kognitive Umschaltfähigkeit und kognitive Flexibilität unter Zeitdruck	Trail Making Test, TMT, Teil A und B	Reitan (1986)	Papier- und Bleistift Test

Fortsetzung siehe nächste Seite



Tabelle 4: Fortsetzung

Parameter	Verfahren	Autoren	Testart
Wortflüssigkeit	Regensburger Wortflüssigkeitstest RWT	Aschenbrenner et al. (2000)	Papier- und Bleistift Test
Interferenz	Farbe-Wort-Interferenztest FWIT	Bäumler (1985)	Papier- und Bleistift Test
Verbale Intelligenz	Wortschatztest WST	Schmidt & Metzler (1992)	Papier- und Bleistift Test
Konzeptbildung	Halstead Category Test HCT	Halstead (1947). Deutsche PC-Fassung: Fast & Engel (2007)	PC-Test
Aufmerksamkeit	Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung TAP: Subtests Altertness, go/no-go, Arbeitsgedächtnis, Reaktionswechsel	Zimmermann & Fimm (2002)	PC-Tests
Interferenz bei emotionalen Stimuli	Emotionaler Stroop Test	Derryberry & Tucker (1994)	PC-Test
<b>3. Experimentelles Paradigma</b>			
Gedächtnis und Suppression	Experimentelles <i>think/no-think</i> -Paradigma	nach Anderson & Green (2001)	PC-Test

## 2.1 Fragebögen

### 2.1.1 Diagnostisches Interview

Die beiden Screeningfragebögen des Strukturierten Klinischen Interviews für DSM-IV (SKID I und II, Wittchen et al., 1997) wurden eingesetzt, um bei den Probanden eventuelle aktuelle oder zurückliegende psychische Erkrankungen und/oder Persönlichkeitsstörungen ausschließen zu können. Der Screeningbogen für Achse-I-Erkrankungen wurde in der anamnestischen Erhebung mit erfasst, während derjenige für Persönlichkeitsstörungen von den Probanden nach dem Anamnesegespräch ausgefüllt wurde. Ergab sich ein auffälliges Antwortverhalten wurde der Proband gemäß des SKID weiterhin exploriert und gegebenenfalls aus der Untersuchung ausgeschlossen.

### 2.1.2 Angstfragebogen

Das *State-Trait-Angstinventar* (STAI, Laux et al., 1981) wird in den USA erfolgreich in Forschung und klinischer Praxis eingesetzt. Es basiert auf der Unterscheidung von Angst als Zustand und Angst als Eigenschaft. Angst als Zustand wird mit dem STAI-1 erfasst. Hier

sollen die Probanden anhand einer vierstufigen Likert-Skala, von „überhaupt nicht“ bis „sehr“, beurteilen, wie sie sich im Moment der Studienteilnahme fühlen. Dies entspricht der State-Angstskala. Ein Beispiel aus dieser Skala ist: „Ich bin ruhig.“. Die Trait-Angstskala wird mit dem STAI-2 gemessen. Hier sollen die Items, wiederum anhand der vierstufigen Skala, danach bewertet werden, wie sie im Allgemeinen zutreffen (Amelang & Bartussek, 2001). Ein Beispiel hiervon ist: „Ich bin vergnügt.“ Das Inventar wurde ausgewählt, um zum einen herauszufinden, ob die Probanden vor der Untersuchung im Magnetresonanztomographen sehr ängstlich sind (State-Skala), aber auch um zum anderen die generelle Ängstlichkeit der Personen zu erfassen (Trait-Skala).

Beide Skalen bestehen aus je 20 Aussagesätzen. Zur Ermittlung der Rohwerte werden die Summenwerte für die beiden Skalen getrennt berechnet. Der Summenwert der State-Angstskala stellt ein Maß für die Intensität eines emotionalen Zustandes dar, wie zum Beispiel Anspannung, Besorgtheit oder Nervosität. Der Wert von 20, der niedrigste Wert, entspricht dem Nichtvorhandensein von Angst, der Wert von 80, der maximal erreicht werden kann, entspricht der höchsten Intensität. Analog dazu kennzeichnet der Summenwert der Trait-Angstskala relativ stabile interindividuelle Differenzen in der Tendenz, Situationen als bedrohlich zu bewerten und diesen mit einem Anstieg der Angst zu begegnen. Hochängstliche stufen Situationen häufiger als bedrohlich ein (maximal 80 Punkte) und reagieren darauf mit höherer Zustandsangst als Niedrigängstliche (minimal 20 Punkte). Anhand von Normtabellen können die Rohwerte in standardisierte T-Werte umgerechnet werden ( $M = 50$ ,  $SD = 10$ ).

### **2.1.3 Kontrollfragebogen zur subjektiven Suppressionseinschätzung**

Mittels dieses Fragebogens sollen die Überzeugungen der Probanden hinsichtlich der Wirksamkeit der Gedankeninhibition erfasst werden. Gleichzeitig wird mit diesem Instrument auch festgehalten, wie die Studienteilnehmer ihren Erfolg und ihre Anstrengung beim Supprimieren der Wörter einschätzten. Einige Items sind dichotom gestaltet, sie können mit „ja“ und „nein“ beantwortet werden, beispielsweise: „Sind Sie der Meinung, dass das Unterdrücken von Gedächtnisinhalten tatsächlich dazu führt, sie zu vergessen?“, während Einschätzungen hinsichtlich persönlicher Verhaltensweisen auf einer fünfstufigen (bzw. bei einem Item dreistufigen) Likert-Skala (0-4 bzw. 0-2) angegeben werden sollen. Ein Beispiel für ein solches Items ist: „Wie erfolgreich gelang es Ihnen Ihrer Meinung nach, die Erinnerung an ein vorhin gelerntes Wort jetzt zu unterdrücken?“ Hier werden Antwortmöglichkeiten von „sehr erfolgreich“ bis „überhaupt nicht erfolgreich“ zur Auswahl

dargeboten. Insgesamt beinhaltet der Fragebogen acht Items. Ein Exemplar des KSSE befindet sich im Anhang.

## **2.2 Neuropsychologische Verfahren**

### **2.2.1 Gedächtnisaufgaben zum Ausschluss von Defiziten bei den älteren Teilnehmern**

Mit den Subtests *Logisches Gedächtnis* und *Verbale Paarererkennung* aus dem *Wechsler Gedächtnis Test – Revidierte Fassung* WMS-R (Härtling et al., 2000) wird das verbale Gedächtnis überprüft.

Der Subtest *Logisches Gedächtnis* prüft die verbale bzw. auditive assoziative Lernleistung und das verbale Gedächtnis. Der Proband wird gebeten, im direkten Anschluss an das Vorlesen einer Geschichte diese nachzuerzählen (unmittelbarer Abruf). Der Untertest besteht aus zwei Geschichten.

Später, nach einer zeitlichen Verzögerung von etwa 30 Minuten, wird überprüft, wie viel der Proband noch behalten hat (verzögerter Abruf). Für die weiteren statistischen Berechnungen wird der Rohwert der erinnerten Satzteile notiert. Für die erste und die zweite Geschichte kann der Proband jeweils maximal 25 Punkte erhalten. Auch beim verzögerten Abruf beträgt die Maximalpunktzahl insgesamt 50.

Mit dem Subtest *Verbale Paarererkennung* wird die unmittelbare und mittelfristige verbale assoziative Lern- und Behaltensleistung geprüft.

Dem Probanden werden acht Wortpaare vorgelesen, von denen er das jeweils zweite Wort bei der anschließenden Vorgabe des jeweils ersten Wortes erinnern soll (unmittelbarer Abruf). Dieser Durchgang wird wiederholt. Wenn der Proband alle Aufgaben im dritten Durchgang löst, ist der Untertest abgeschlossen. Ansonsten wird der Durchgang noch so oft wiederholt, bis der Proband alle Aufgaben lösen konnte. Nach etwa 30 Minuten wird ein weiteres Mal überprüft, wie viel der Proband noch behalten hat (verzögerter Abruf).

Mit den Subtests *Figurales Gedächtnis*, *visuelle Paarererkennung* und *visuelle Wiedergabe* aus dem *Wechsler Gedächtnis Test – Revidierte Fassung* WMS-R werden die visuelle Lernleistung und das visuelle Gedächtnis überprüft.

Der Test *Figurales Gedächtnis* prüft die visuellen unmittelbaren Wiedererkennungsleistungen. Die erste Aufgabe besteht darin, dass der Proband zunächst für fünf Sekunden ein Bild sieht, das er sich einprägen und unter einer Auswahl von drei Bildern wieder erkennen soll. Zwei der Bilder dienen also nur zur Ablenkung. In der zweiten Aufgabe werden dem Probanden drei Bilder für 15 Sekunden dargeboten. Diese soll er sich einprägen und unter einer Auswahl von neun Bildern wieder erkennen (sechs Bilder sind Distraktoren). Die dritte und vierte Aufgabe laufen wie die zweite Aufgabe ab. Insgesamt kann der Proband für diesen Untertest maximal zehn Punkte erhalten.

Der Untertest *Visuelle Paarererkennung* überprüft die unmittelbare und mittelfristige visuelle assoziative Behaltensleistung. Dem Probanden werden sechs Strichfiguren, jeweils gepaart mit einer bestimmten Farbe, gezeigt. Anschließend werden die Strichfiguren allein als Hinweisreiz dargeboten, und der Proband soll in dem Testheft auf die jeweils zugehörige Farbe zeigen (unmittelbarer Abruf).

Dieser Durchgang wird zweimal mit den gleichen Paaren in unterschiedlicher Reihenfolge wiederholt. Beherrscht der Proband nach dem dritten Durchgang alle Paare, ist der Untertest an dieser Stelle beendet. Für jeden Durchgang gibt es maximal acht Punkte. Anderenfalls werden die Paare bis zu drei weitere Male gezeigt und abgerufen.

Nach etwa 30 Minuten werden die Paare noch einmal in gleicher Weise abgefragt. Hier kann der Proband noch einmal bis zu acht Punkte erhalten (verzögerter Abruf).

Im Subtest *Visuelle Wiedergabe* werden dem Probanden vier Stimuluskarten mit geometrischen Figuren für jeweils zehn Sekunden dargeboten. Er wird gebeten, diese jeweils im unmittelbaren Anschluss an die Darbietung frei zu reproduzieren. Für jedes korrekte Detail erhält der Proband einen Punkt. Bei den ersten beiden Karten ist die Maximalpunktzahl sieben. Bei der dritten Karte kann der Proband bis zu neun Punkte erhalten. Für die vierte Karte werden maximal 18 Punkte vergeben. Nach einer zeitlichen Verzögerung von etwa 30 Minuten wird überprüft, wie viel der Proband noch behalten hat (verzögerter Abruf). Sowohl beim unmittelbaren Abruf als auch beim verzögerten Abruf ist die maximale Punktzahl 42.

Die Rohwerte dieser Tests werden zusammengefasst und in so genannte normierte Indexwerte umgerechnet. Somit ergibt sich aus den Subtests *Logisches Gedächtnis I* und *Verbale Paarererkennung I* der Indexwert für Verbales Gedächtnis. *Figurales Gedächtnis*, *Visuelle Paarererkennung I* und *Visuelle Wiedergabe I* ergeben zusammen den Wert, der zum Indexwert

Visuelles Gedächtnis transformiert wird. Beide Gedächtnissummen ergeben den Indexwert Allgemeines Gedächtnis. Der letzte der vier Indexwerte, Verzögertes Gedächtnis, ergibt sich aus den Subtests *Logisches Gedächtnis II*, *Visuelle Paarererkennung II*, *Verbale Paarererkennung II* und *Visuelle Wiedergabe II*.

Alle Indexwerte sind so normiert, dass der Durchschnitt (= Mittelwert: M) bei 100 liegt, die Standardabweichung (SD) beträgt 15.

### 2.2.2 Allgemeines Intelligenzniveau

Zur Ermittlung des allgemeinen Leistungs- oder Intelligenzniveaus der teilnehmenden Probanden dienen der *Wortschatztest* von Schmidt und Metzler (1992) und die Subtests *Wortschatztest*, *Rechnerisches Denken* und *Bilderergänzen* des *Hamburg-Wechsler-Intelligenztest für Erwachsene – Revidierte Version* HAWIE-R (Tewes et al., 1991).

Der *Wortschatztest* WST ermöglicht eine annähernde Bestimmung eines alters- und abbaustabilen verbalen Intelligenzniveaus und des Sprachverständnisses. Der Test besteht aus 42 Aufgaben. Jede Aufgabe enthält ein Zielwort (ein real existentes Wort) sowie fünf Distraktoren (Nicht-Wörter), wobei der Proband jeweils das Zielwort herausfinden und durchstreichen soll. Die Aufgabenschwierigkeit ist aufsteigend angeordnet. Für jede richtig gelöste Aufgabe erhält der Proband einen Punkt.

Der *Wortschatztest* des HAWIE-R misst die sprachlichen Kenntnisse des Probanden. Die Aufgabe besteht darin, die Bedeutung von 32 Wörtern zu erklären, die aufsteigend nach ihrer Schwierigkeit gelistet sind. Es wird davon ausgegangen, dass der *Wortschatztest* ein gutes Maß für die verbale Ausdrucksfähigkeit und die Fähigkeit des Probanden, Wortbedeutungen zu erfassen, darstellt.

Die Leistungen werden als vom Lebensalter weitgehend unabhängiges Maß für Intelligenz angenommen. Dem Testleiter liegen eine Anzahl richtiger Antworten vor. Erklärt der Proband den Begriff mithilfe einer dieser vorgesehenen Lösungen, erhält er einen Punkt. Die Höchstpunktzahl ist 32.

Der Subtest *Rechnerisches Denken* dient der Überprüfung des so genannten Arbeitsgedächtnisses und testet die Fähigkeit, Operationen leichter Art im Kopf durchzuführen, wobei die Leistungen von Bildung und Konzentrationsvermögen abhängig sind.

Für jede der Aufgaben mit ansteigendem Schwierigkeitsgrad besteht ein festgelegtes Zeitpensum. Für jede richtige Lösung erhält der Proband einen Punkt. Für die letzten fünf Aufgaben gibt es einen Bonuspunkt, wenn die Aufgabe innerhalb eines vorgegebenen Zeitfensters gelöst wurde. Werden drei Aufgaben nacheinander nicht in dem vorgegebenen Zeitfenster gelöst, wird der Test abgebrochen. Die maximal zu erreichende Punktzahl ist 19.

Der Untertest *Bilderergänzen* dient zur Erfassung der Fähigkeit, fehlende Details in bekannten bildhaft dargestellten logischen Zusammenhängen zu identifizieren. Es müssen dabei wesentliche von unwesentlichen Details unterschieden werden. Dem Probanden werden 17 Bilder vorgelegt, die er betrachten soll. Seine Aufgabe besteht nun darin, das fehlende Detail zu benennen. Für jedes richtig erkannte fehlende Detail erhält der Proband einen Punkt.

### **2.2.3 Exekutiv- (und frontallhirnassoziierte) Funktionen**

Zur Überprüfung der exekutiven Leistungen der Probanden wurden der *Mosaik-Test* sowie der Subtest *Bilderordnen* des HAWIE-R, Teil B des *Trail Making Tests* (Reitan, 1986), der *Halstead Category Test* von Halstead (1947), Deutsche PC-Fassung: Fast & Engel (2007) und der Subtest *go/no-go* der computergestützten *Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung* (Zimmermann & Fimm, 2002) herangezogen. Auch die Wortflüssigkeitsaufgaben (Aschenbrenner et al., 2000) dienen zur Überprüfung intakter frontaler Funktionen, sowie der *Farbe-Wort-Interferenztest* (Bäumler, 1985). Darüber hinaus wurde in diesem Zusammenhang noch die Inhibitionsfähigkeit emotionaler Stimuli mittels des *Emotionalen Stroop Paradigmas* (Derryberry & Tucker, 1994) getestet.

Der *Mosaiktest* prüft das räumliche Vorstellungsvermögen und die psychometrische Koordination. Darüber hinaus können qualitative Aussagen über Lösungsstrategien gemacht werden. Die Aufgabe des Probanden ist es, bei neun Testaufgaben zweidimensionale Muster mit mehrfarbigen Klötzen nachzubauen. Die Muster haben ansteigende Schwierigkeitsgrade, so dass man für die ersten fünf Aufgaben vier Würfel benötigt, für die letzten vier Aufgaben neun Würfel. Vor jedem Durchgang werden die Klötzchen neu gemischt, damit dem Probanden durch die vorangegangene Lösung keine Vorteile entstehen. Der Zeitrahmen zur Bearbeitung beträgt bei den ersten Aufgaben jeweils 60 Sekunden und bei den letzten vier Aufgaben je 120 Sekunden. Die Punktvergabe ist abhängig von der benötigten Bearbeitungszeit. Die höchste zu erreichende Punktzahl ist 51. Nach drei Fehlversuchen in Folge wird der Test abgebrochen.

Beim Untertest *Bilderordnen* wird die Fähigkeit, auf visuellem Weg soziale Handlungsabläufe zu verstehen, Ordnung von Sequenzen herzustellen und Einzelaspekte in eine Gesamtsituation zu integrieren, getestet. Der Proband hat die Aufgabe, möglichst schnell die richtige Reihenfolge der einzelnen Bilder innerhalb vorgegebener Serien herauszufinden. Es gibt dabei insgesamt zehn Serien, von denen vier jeweils zwei mögliche Lösungen haben. Für jede Aufgabe ist ein Zeitrahmen vorgegeben. Pro Aufgabe können abhängig von der beanspruchten Zeit bis zu sechs Punkte erhalten werden. Insgesamt ist die maximal zu erreichende Punktzahl 56.

Der *Trail Making Test* TMT (Reitan, 1986) besteht aus den Testteilen A (der im folgenden Abschnitt beschrieben wird) und B, denen jeweils ein Durchgang zur Übung vorausgeht. Im zweiten Teil dieses Tests, TMT B, müssen abwechselnd die Zahlen 1 bis 13 sowie die Buchstaben A bis L in aufsteigender Reihenfolge möglichst rasch verbunden werden (1-A-2-B-etc.). Auch in diesem Teil sind die zu verbindenden Elemente über ein DIN A4 Blatt verteilt. Mit dem Testteil B sollen zusätzlich zur Grundgeschwindigkeit sowohl die kognitive Umschaltfähigkeit bzw. die kognitive Flexibilität unter Zeitdruck als auch das Arbeitsgedächtnis überprüft werden. In die statistische Berechnung geht jeweils der Rohwert der Bearbeitungszeit, gemessen in Sekunden, ein.

Mit Hilfe des *Halstead Category Tests* HCT (Halstead, 1947) werden Flexibilität und Schnelligkeit eines Probanden bei der Erfassung und Abstraktion von Klassifikationsprinzipien im Rahmen eines Lernprozesses überprüft. Im Speziellen wird die Kompetenz des Probanden untersucht, allgemeine Prinzipien aus der Erfahrung mit spezifischen Reizsituationen abzuleiten und diese anzuwenden. Der Proband bekommt Figuren auf dem Bildschirm zu sehen. Jedes dieser Reizitems muss mit einer Zahl von 1 bis 4 beantwortet werden, indem der Proband die entsprechende Taste auf der Computertastatur drückt. Der Proband erhält visuelle und auditorische Rückmeldung über die Richtigkeit seiner Antwort. Der Test besteht aus sieben Gruppen von Stimuli, wobei allen Items einer Gruppe ein bestimmtes Prinzip zugrunde liegt, das es zu erfassen gilt.

Bei der ersten Figur jeder Gruppe muss der Proband die richtige Antwort erraten. Bei jedem weiteren Item der Gruppe kann er über die Rückmeldung zu seinen bisherigen Antworten auf das Lösungsprinzip schließen. Schließlich wird die Gesamtanzahl der Fehler gemessen.

Beim Subtest *go/no-go* der Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (Zimmermann & Fimm, 2002) wird die spezifische Fähigkeit des Probanden zur Unterdrückung (Inhibition) einer inadäquaten motorischen Reaktion überprüft. Der Proband bekommt auf dem Bildschirm in ungeordneter Reihenfolge die Zeichen „x“ oder „+“ zu sehen. Die Aufgabe ist es, ausschließlich auf das „x“ mit einem möglichst schnellen Tastendruck zu reagieren. Die Gesamtanzahl der Reize ist 40. In die statistische Berechnung gehen sowohl die Fehlreaktionen ein, die ein Hinweis auf mangelnde Inhibitionsfähigkeit sind, als auch die mittlere Reaktionszeit.

Wortflüssigkeitsaufgaben, wie der *Regensburger Wortflüssigkeitstest* RWT von Aschenbrenner et al. (2000), dienen der Erfassung des divergenten Denkens. Divergentes Denken ist flüssiges originelles Denken, bei dem die Produktion möglichst vieler Lösungsmöglichkeiten angestrebt wird, und ist somit subsumierbar unter allgemeine Problemlösefähigkeit.

Die Untertests bestehen aus formallexikalischen und semantischen Wortflüssigkeitstests, welche den Abruf aus dem formalen bzw. semantischen mentalen Lexikon erfordern. Sowohl die Tests zur Prüfung der formallexikalischen Wortflüssigkeit als auch die Tests zur Prüfung der semantischen Wortflüssigkeit sind untergliedert in Tests mit und ohne Kategorienwechsel. In dieser Studie wurden die Untertests „K“-*Wörter* und „G-R“-*Wörter* (Kategorienwechsel) für die formallexikalische Subgruppe und die Untertests *Lebensmittel* und *Kleidungsstücke-Blumen* (Kategorienwechsel) für die semantische Subgruppe jeweils für zwei Minuten durchgeführt. Die innerhalb der zwei Minuten richtig genannten Items werden addiert.

Der *Farbe-Wort-Interferenztest* FWIT (Bäumler, 1985 nach Stroop, 1935) dient der Prüfung der Interferenzanfälligkeit/Ablenkbarkeit. Der Test besteht aus drei Aufgaben. Die erste Aufgabe (Tafel 1) besteht darin, Farbwörter so schnell wie möglich zu lesen. Die zweite Aufgabe besteht in einem raschen Benennen der Farben von viereckigen Feldern, die auf einer zweiten Tafel abgebildet sind, und die dritte Aufgabe besteht darin, die Farbe, in der ein Farbwort gedruckt ist, rasch zu benennen. Diese letzte Aufgabe ist die Interferenzbedingung. Die Wortbedeutung stimmt nicht mit der Farbe, in der das Wort gedruckt ist, überein (z. B. ist das Wort *grün* in roter Farbe gedruckt). Wenn die Benennensleistung bei dieser dritten Aufgabe deutlich verlangsamt ist, ist davon auszugehen, dass diese Verzögerung eine Folge der Interferenz zwischen der automatisierten Leistung, das Wort ohne Beachtung der Druckfarbe zu lesen, und der geforderten Leistung, die Wortbedeutung nicht zu beachten, ist.



Ermittelt werden in diesem Test sowohl die Lesegeschwindigkeiten in allen drei Bedingungen, als auch die Unterschiede hinsichtlich der Lesezeit zwischen Lesen und Benennen (NOM) und zwischen Benennen und Interferenzaufgabe (SEL). Um die NOM- und SEL-Werte zu errechnen, wird der anhand der Bearbeitungsgeschwindigkeit erreichte alterskorrigierte T-Wert von einem entsprechenden Erwartungswert abgezogen. Bei einer bestimmten Lesegeschwindigkeit wird eine bestimmte Geschwindigkeit beim Benennen erwartet bzw. wird bei einer bestimmten Benennungsgeschwindigkeit eine bestimmte Bearbeitungszeit der Interferenzaufgabe erwartet. Je nach Leistung liegt der Proband dann über oder unter dem Erwartungswert. Positive Werte spiegeln eine schlechtere Leistung als erwartet wider, negative eine bessere. Dieser positive oder negative Differenzwert ist der NOM- / SEL-Wert. Ein positiver SEL-Wert steht somit für erhöhte Interferenzanfälligkeit.

Mit dem *Emotionalen Stroop Paradigma* (Derryberry & Tucker, 1994, nach Stroop, 1935) soll die Inhibitionsfähigkeit im Zusammenhang mit emotionalen Stimuli untersucht werden. Auf einem Bildschirm werden nacheinander 108 Wörter in pseudorandomisierter Reihenfolge auf einem weißen Hintergrund dargeboten. Die Wörter unterscheiden sich bezüglich ihrer emotionalen Ladung. Jeweils 36 Wörtern gelten als borderlinespezifisch-negativ, negativ oder neutral.

Zunächst erscheint für 500 ms eines dieser Wörter in einer bestimmten Farbe (rot, gelb, grün oder blau) auf dem Bildschirm. Danach wird unterhalb des Wortes ein Farbname in schwarzer Farbe (rot, gelb, grün oder blau) eingeblendet. Die gleichzeitige Darbietung des Wortes und des Farbnamen dauert 1500 ms. Innerhalb dieses Zeitrahmens muss der Proband nun per Maustaste entscheiden, ob das obere Wort farblich mit dem darunter eingeblendeten Farbnamen übereinstimmt. Zwischen den einzelnen Durchgängen erscheint für 2000 ms ein Fixationskreuz in der Mitte des Bildschirms. Die Reaktionszeiten und Fehler werden automatisch gespeichert. Bei Fehlern und Auslassungen wird eine Reaktionszeit von 1500 ms angegeben. Dieses Paradigma wurde ursprünglich für Untersuchungen mit Patienten mit Borderline-Persönlichkeitsstörung erstellt, deswegen auch die speziellen Stimuli. Dennoch wird es in der vorliegenden Arbeit herangezogen, da es ein Instrument zur Erfassung der Inhibition von negativ emotionalen Stimuli ist, was für die aktuelle Fragestellung von zusätzlichem Interesse ist hinsichtlich der sich eventuell ergebenden Unterschiede zwischen den älteren und jüngeren Teilnehmern. Bezüglich der borderline-spezifischen Wörter wird vermutlich kein spezieller Effekt zu beobachten sein, deswegen wird diese Bedingung aus den Berechnungen ausgeschlossen.

#### 2.2.4 Visumotorische Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit, Aufmerksamkeitsleistungen und Arbeitsgedächtnis

Zur Überprüfung der visumotorischen Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit wird Teil A des *Trail Making Tests* (Reitan, 1986) herangezogen. Hierbei soll der Proband die Zahlen 1 bis 25, die über ein DIN A4-Blatt verteilt sind, möglichst schnell mit einem durchgehenden Bleistiftstrich aufsteigend verbinden. Damit sollen die kognitive Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit sowie die visumotorische Grundgeschwindigkeit erfasst werden. In die statistische Berechnung geht jeweils der Rohwert der Bearbeitungszeit, gemessen in Sekunden, ein.

Zur Beschreibung der Aufmerksamkeitsleistung der Probanden wurde die *Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung TAP* (Zimmermann & Fimm, 2002) herangezogen und die Subtests des *Wechsler Gedächtnis Test – Revidierte Fassung WMS-R* (Härting et al., 2000) *Zahlen-spanne* und *Blockspanne*, die auch der Überprüfung des Arbeitsgedächtnisses dienen, durchgeführt.

Mit der TAP können Aufmerksamkeitsstörungen differenziert diagnostiziert werden. Die vier Subtests (*Alertness*, *go/no-go* (Beschreibung siehe Exekutivfunktionen), *Arbeitsgedächtnis* und *Reaktionswechsel*) wurden am gleichen PC durchgeführt. Die jeweilige Reaktion erfolgt durch manuellen Druck auf spezielle Tasten. Vor jedem Subtest wird je ein Probedurchgang durchgeführt.

Mit dem Subtest *Alertness* wird die Fähigkeit, in Erwartung eines Reizes das Aufmerksamkeitsniveau zu steigern und aufrecht zu erhalten, erfasst. Die Aufgabe des Probanden ist es beim Erscheinen des Zielreizes – ein X in der Mitte des Bildschirms – so schnell wie möglich auf die vorgegebene Taste drücken (tonische *Alertness*).

Der Subtest *Alertness* gliedert sich in vier Blöcke mit jeweils zwanzig Reizen. Bei der Hälfte der Reize erfolgt vorher ein Warnton (phasische *Alertness*). Zwei Blöcke enthalten die Reize mit, zwei diejenigen ohne Warnton. Die Blöcke werden in einem ABBA-Design vorgegeben. Die mittlere Reaktionszeit für die Durchgänge mit vorausgehendem Warnton bzw. die mittlere Reaktionszeit für die Durchgänge ohne Warntöne ist hier Grundlage für die weiteren statistischen Berechnungen.

Der Subtest *Arbeitsgedächtnis* erfasst die aufmerksamkeitsgesteuerten Kurzzeitspeicherprozesse. Auf dem Bildschirm werden hintereinander Zahlen dargeboten. Entspricht die gezeigte einstellige Zahl der vorletzten Zahl, dann soll die vorgegebene Taste gedrückt werden. Die mittlere Reaktionszeit sowie Auslassungsfehler und Fehlreaktionen werden automatisch gespeichert.

Der Subtest *Reaktionswechsel* dient der Prüfung der selektiven Aufmerksamkeit mit Wechsel des Aufmerksamkeitsfokus. Es wird pro Durchgang jeweils eine Zahl und ein Buchstabe auf dem Bildschirm dargeboten. Vor dem Probanden liegen zwei Tasten. Der Patient soll die Taste auf der Seite drücken, auf welcher der Buchstabe erscheint; dann auf der Seite, auf welcher die Zahl erscheint. Der Patient soll pro Durchgang den Fokus seiner Aufmerksamkeit (Buchstabe, Zahl, Buchstabe, Zahl, usw.) wechseln.

Bei allen Subtests der TAP wird die Reaktionszeit in Millisekunden (ms) gemessen.

Der Subtest *Zahlenspanne* des *Wechsler Gedächtnis Test – Revidierte Fassung* WMS-R prüft die verbale und visuelle Kurzzeitspeicherleistung. Der Subtest gliedert sich in zwei Teile. Im ersten Teil, der *Zahlenspanne vorwärts*, wird dem Probanden eine Zahlenfolge vorgelesen. Er hat die Aufgabe, diese in gleicher Reihenfolge wiederzugeben. Der Test besteht aus zwölf Zahlenreihen mit einer ansteigenden Anzahl der Ziffern pro Zahlenreihe. Zwei Zahlenreihen hintereinander bestehen jeweils aus der gleichen Anzahl Ziffern. Wenn der Proband mindestens eine der beiden Folgen korrekt wiedergeben kann, wird die Zahlenfolge um eine Ziffer erweitert, ansonsten wird der Test abgebrochen. Der zweite Teil *Zahlenspanne rückwärts* unterscheidet sich vom ersten Teil indem nun die Aufgabe darin besteht, die vorwärts vorgelesene Zahlenspanne in umgekehrter Reihenfolge wiederzugeben.

Der Subtest *Blockspanne* gliedert sich in zwei Abschnitte. Im ersten Teil, der *Blockspanne vorwärts*, berührt der Versuchsleiter auf einem Brett mit neun Blöcken diese in einer bestimmten Reihenfolge. Der Proband hat die Aufgabe, sich die Folge einzuprägen und anschließend wiederzugeben. Im zweiten Teil, der *Blockspanne rückwärts*, hat der Proband nun die Aufgabe, sich die Folge einzuprägen und in umgekehrter Reihenfolge wiederzugeben.

## 2.3 Erstellung des experimentellen Paradigmas

### 2.3.1 Material

Aus einer Sammlung von verschiedenen Studien (Hager & Hasselhorn, 1994), in denen Wörter nach speziellen Parametern von gesunden Kontrollpersonen bewertet wurden, wurde zunächst aus zwei Studien ein großes Korpus an Bewertungen von Substantiven ausgewählt. Die insgesamt 800 Substantive aus den beiden Korpora waren von 85 Versuchspersonen hinsichtlich ihrer Bildhaftigkeit, Konkretheit und Bedeutungshaltigkeit beurteilt worden (Baschek et al., 1977) und zusätzlich von 32 Versuchspersonen bezüglich der Parameter Valenz, Potenz und Erregung eingeschätzt worden (Schwibbe et al., 1981). Diese sechs Parameter sind in Tabelle 5 im Einzelnen dargestellt. Ihre Mittelwerte und Streuungen wurden linear so transformiert (Transformationsgleichungen siehe Anhang), dass die erreichten Werte auf einer bipolaren Skala dargestellt werden können. Somit sind pro Parameter Werte zwischen -20 und +20 möglich (Beispiel: Ein Wort mit einer hohen Bildhaftigkeit wie Rose erhält einen Wert nahe +20, während ein Wort wie Stunde, zu dem bei den meisten Menschen wohl nicht sofort ein Bild im Kopf entsteht, einen Wert gegen -20 erhalten würde).

Tabelle 5: Beschreibung der zur Wortbewertung eingesetzten Parameter nach Baschek et al. (1977) und Schwibbe et al. (1981)

Parameter	Beschreibung
Bildhaftigkeit	Wörter unterscheiden sich in ihrer Eigenschaft, bildhafte Vorstellungen von Dingen und Ereignissen hervorzurufen. Einige Wörter bewirken sehr schnell und leicht das Auftreten einer bildhaften Vorstellung oder eines Klangs. Andere Wörter dagegen können diese Erfahrungen nur sehr schwer (z. B. nach längerer Zeit) oder überhaupt nicht auslösen. „+“ bedeutet: löst sehr schnell u. sehr leicht eine bildhafte Vorstellung aus „-“ bedeutet: löst sehr schwer u. langsam oder überhaupt keine bildhafte Vorstellung aus.
Konkretheit – Abstraktheit	Wörter sind in unterschiedlichem Ausmaß konkret oder abstrakt. Ein Wort, das sich auf sinnlich erfahrbare Merkmale von Dingen oder Personen bezieht, wird man eher als konkret bezeichnen. Ein Wort, das sich auf einen Begriff bezieht, der nicht durch die Sinne erfahren werden kann, wird man eher als abstrakt bezeichnen. „+“ bedeutet: sehr konkret. „-“ bedeutet: sehr abstrakt.
Bedeutungshaltigkeit	Wörter rufen in unterschiedlichem Ausmaß Assoziationen hervor. Ein Wort, das an viele weitere Wörter denken lässt, ist von hoher Bedeutungshaltigkeit. „+“ bedeutet: löst sehr viele andere Wörter aus. „-“ bedeutet: löst kein anderes oder nur mit großer Mühe ein anderes Wort aus.

Fortsetzung siehe nächste Seite

Tabelle 5: Fortsetzung

Parameter	Beschreibung
Valenz	„+“ bedeutet: angenehm, sympathisch, anziehend, freundlich. „-“ bedeutet: unangenehm, unsympathisch, abstoßend, unfreundlich.
Potenz	„+“ bedeutet: kraftvoll, dominant, hart, stark. „-“ bedeutet: kraftlos, unterlegen, weich, schwach.
Erregung	„+“ bedeutet: schnell, bewegt, erregend, eilig. „-“ bedeutet: langsam, gemächlich, beruhigend, ruhig.

Für das *think/no-think* Paradigma wurden die Wörter und Wortpaare wie folgt ausgesucht:

Pro Wortpaar wurde jeweils ein sehr bildhaftes und sehr konkretes Wort ausgewählt und ein sehr wenig bildhaftes, eher abstraktes Wort. Es wurde zusätzlich darauf geachtet, dass die Wörter prä-experimentell nicht assoziiert waren. Dies war einerseits durch die Wahl der konkreten und abstrakten Wörter, die immer ein Wortpaar bilden, schon weitgehend gewährleistet; zusätzlich wurde noch mit dem Lexikon des Wortschatzprojektes der Universität Leipzig (2006) überprüft, ob die beiden Wörter auch wirklich nicht miteinander assoziiert sind. Da in diesem Lexikon für jedes Wort, das man nachschlägt, die assoziierten Wörter ausgegeben werden, wurde jedes Wort dahingehend geprüft und gegebenenfalls ersetzt.

Darüber hinaus wurde darauf geachtet, dass alle Wörter hinsichtlich Silben- und Buchstabenanzahl weitgehend homogen sind. Hiermit wurde gewährleistet, dass nicht einige Wörter wegen ihrer auffälligen Länge oder Kürze womöglich leichter zu lernen sind als andere. Aus diesem Grund wiesen auch jeweils alle konkreten sowie alle abstrakten Wörter eine ähnlich große Verwendungshäufigkeit im deutschen Wortschatz auf. Auch diese drei Parameter wurden mit Hilfe des genannten Wortschatzprojektes kontrolliert.

Für die verwendete Wortliste wurden 36 Wortpaare nach dem beschriebenen Verfahren selektiert. Alle eingesetzten Wörter sind in Tabelle 20 im Anhang aufgelistet. Bei der Auswahl der Wörter wurde wie schon erwähnt darauf geachtet, dass die Schlüsselwörter (also die jeweils linken Wörter im Wortpaar, die später als Hinweisreiz fungieren) niedrigere Werte als die Zielwörter (das sind diejenigen Wörter, welche die Probanden sich einprägen sollen, um das Wortpaar bei Präsentation des Schlüsselwortes richtig ergänzen zu können)

hinsichtlich Konkretheit, Bildhaftigkeit und Bedeutungshaltigkeit aufweisen. Somit wurde gesichert, dass jeweils zwei Wörter eines Wortpaares prä-experimentell nicht assoziiert sind und sich deswegen aufgrund leichter Vorstellbarkeit allzu leicht und tief enkodieren lassen. Darüber hinaus sollten die Parameter Valenz, Potenz und Erregung (*arousal*) bei allen 36 Wörtern möglichst nah bei Null liegen, um zu gewährleisten, dass diese Wörter tatsächlich von den meisten Menschen im Mittel als neutral empfunden werden.

Da für die vorliegende Arbeit das experimentelle *think/no-think* Paradigma innerhalb der MRT-Untersuchung eingesetzt wurde, wurde eine so hohe Anzahl an Wortpaaren gewählt. Dies war notwendig, damit die Anzahl der Stimuli für ein aussagekräftiges MRT-Experiment ausreichend war. Die Probanden, die in die Studie eingeschlossen wurden, wurden vorher ausführlich neuropsychologisch getestet, so dass vorab entschieden werden konnte, ob die jeweils aktuell bestehende Lernleistung dafür ausreichte, die 36 Wortpaare problemlos enkodieren zu können. Somit konnte weitgehend vermieden werden, dass Teilnehmer die Untersuchung abbrachen, weil ihnen die Aufgabe zu schwer war.

Im experimentellen Paradigma wurden die Wortpaare in drei gleiche Teile aufgeteilt, jeder Teil entspricht dann einer bestimmten Bedingung: Suppression = *no-think*; Response = *think*, Baseline = normale Vergessensrate. Diese drei Bedingungen werden im Abschnitt zur Beschreibung des Paradigmas noch genau erläutert. Zunächst werden einige Berechnungen dargestellt, mittels derer überprüft werden sollte, ob die ausgewählten Wörter tatsächlich den geforderten Kriterien genügen. Dafür wurde zunächst eine Varianzanalyse berechnet. Um Unterschiede in der Parameterausprägung zwischen den Schlüssel- und Zielwörtern zu erfassen, wurden t-Tests kalkuliert. Darüber hinaus wurde weiterhin mittels t-Tests geprüft, ob sich die jeweiligen Schlüssel- und Zielwörter nicht hinsichtlich der drei Bedingungen, in die sie später im *think/no-think* Paradigma unterteilt werden, unterscheiden. Da die Itemanzahl relativ gering war, wurde darauf verzichtet, auf Normalverteilung zu prüfen. Die Varianzhomogenität wurde mit dem Levene-Test überprüft, entsprechend werden die Werte für homogene oder inhomogene Varianzen angegeben.

Die statistischen Berechnungen ergaben, dass die Zielwörter im Mittel bildhafter, konkreter und bedeutungshaltiger sind als die Schlüsselwörter (t-Test). Somit waren die wichtigsten geforderten Unterscheidungskriterien erfüllt. Ferner fand sich, dass die Schlüsselwörter unter Bezugnahme auf Silben- und Buchstabenanzahl länger sind als die Zielwörter. Der

Unterschied hinsichtlich des Parameters Erregung wird hier nicht als aussagekräftig betrachtet, da beide Wortformen hier einen Mittelwert nahe genug bei null aufweisen, dass die Wörter noch als neutral gelten können. Dasselbe gilt für den tendenziellen Unterschied bezüglich der Potenz, auch hier sind die Mittelwerte im Betrag gering genug, dass die Wörter als neutral betrachtet werden können. Abbildung 1 gibt einen Überblick über die verschiedenen Ausprägungen der Parameter pro Wortgruppe und die Signifikanz der Unterschiede zwischen den Schlüssel- und Zielwörtern berechnet mittels t-Test, eine vollständige Tabelle inklusive aller p-Werte befindet sich im Anhang (Tabelle 21).

Bei der Berechnung wurde wie folgt vorgegangen: In einer Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den neun abhängigen *Parametern* (Bildhaftigkeit, Konkretheit, Bedeutungshaltigkeit, Valenz, Potenz, Erregung, Silbenanzahl, Buchstabenanzahl und Häufigkeit im Deutschen) und den Zwischensubjektfaktoren *Stelle im Wortpaar* (Schlüssel- oder Zielwort) und *Bedingung* (Baseline, Suppression und Response) ergaben sich die folgenden Ergebnisse: Es fand sich ein hoch signifikanter Interaktionseffekt für *Parameter \* Stelle im Wortpaar*:  $F(4,286; \text{koriert nach Greenhouse-Geisser}) = 164,8; p \leq 0,001$ , sowie ein Haupteffekt für *Stelle im Wortpaar*  $F(1) = 157,4; p \leq 0,001$  auf ebenfalls hohem Signifikanzniveau.

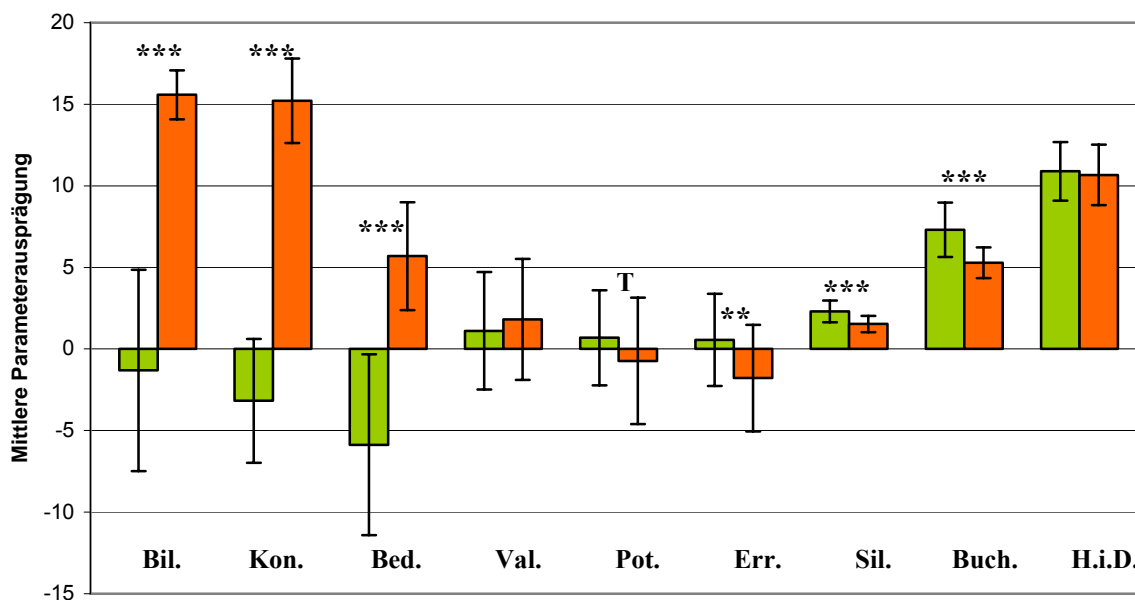


Abb. 1: Mittelwerte und Standardabweichungen der Parameterausprägung der zwei Wortgruppen (Schlüsselwort = grün, Zielwort = orange) und Ergebnisse der Signifikanzprüfung durch t-Tests. Bil. = Bildhaftigkeit, Kon. = Konkretheit, Bed. = Bedeutungshaltigkeit, Val. = Valenz, Pot. = Potenz, Err. = Erregung, Sil. = Silbenanzahl, Buch. = Buchstabenanzahl, H.i.D. = Häufigkeit im Deutschen

Um zu überprüfen, ob alle Wortpaare pro Bedingung hinsichtlich der Schwierigkeit, sie zu enkodieren als gleichwertig beurteilt werden können, wurden die Wörter pro Bedingung hinsichtlich ihrer mittleren Parameterausprägungen betrachtet. Abbildung 2 gibt einen Überblick über die Schlüsselwörter. Hier fanden sich teilweise im t-Test leichte Unterschiede hinsichtlich Bedeutungshaltigkeit, Erregung, Silben- und Buchstabenanzahl, diese wurden jedoch nicht berücksichtigt, da die Schlüsselwörter lediglich als Hinweisreize fungierten und somit im Gegensatz zu den Zielwörtern nicht enkodiert werden mussten.

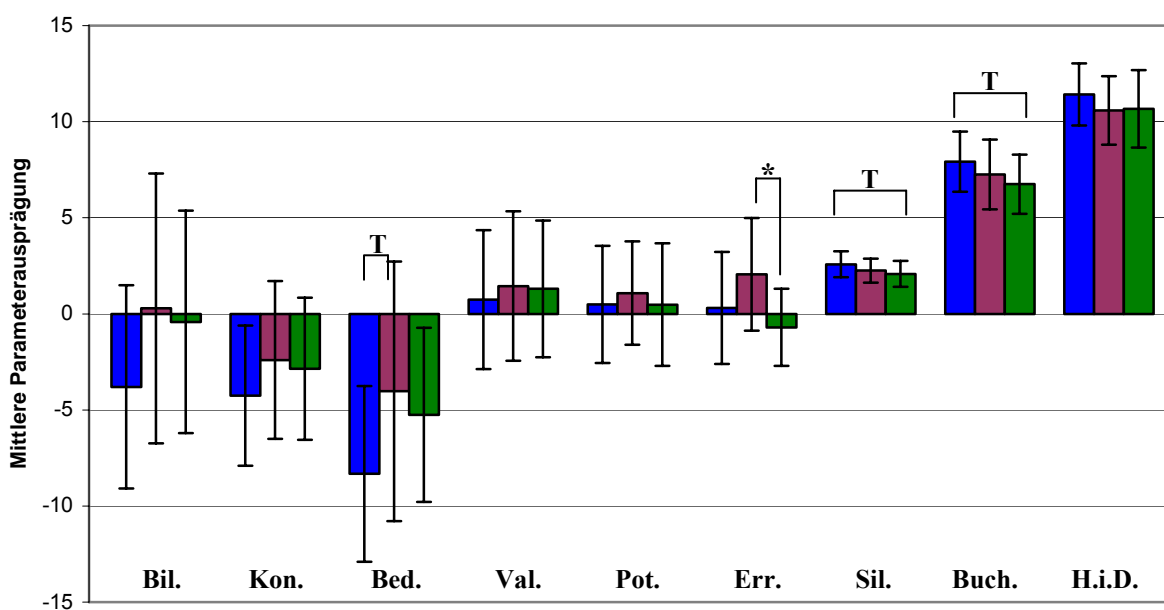


Abb. 2: Mittelwerte und Standardabweichungen der Schlüsselwörter pro Bedingung (Baseline = blau, Suppression = rot, Response = grün) und Ergebnisse der Signifikanzprüfung durch t-Tests. Bil. = Bildhaftigkeit, Kon. = Konkretheit, Bed. = Bedeutungshaltigkeit, Val. = Valenz, Pot. = Potenz, Err. = Erregung, Sil. = Silbenanzahl, Buch. = Buchstabenanzahl, H.i.D. = Häufigkeit im Deutschen

Die mittleren Ausprägungen der einzelnen Parameter der Zielwörter sind in Abbildung 3 dargestellt, hier fanden sich gemäß der Forderung keine bedeutsamen Unterschiede pro Bedingung. Die genauen paarweisen Unterschiede der Ziel- und der Schlüsselwörter inklusive aller p-Werte, berechnet mittels t-Tests, finden sich in den Tabellen 22 und 23 im Anhang.



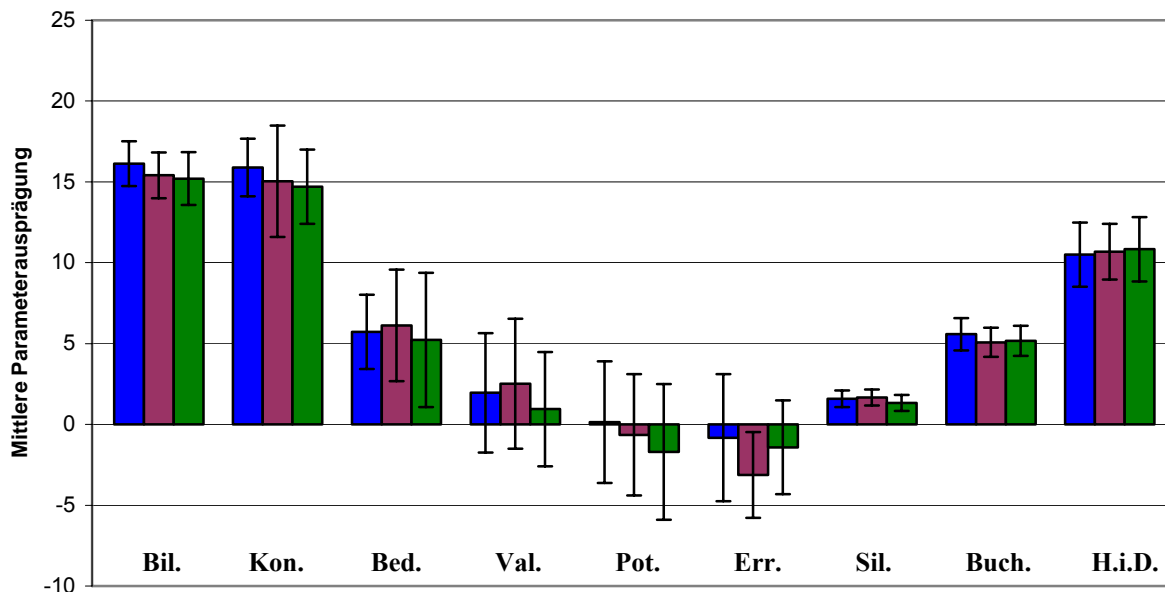


Abb. 3: Mittelwerte und Standardabweichungen der Zielwörter pro Bedingung (Baseline = blau, Suppression = rot, Response = grün) und Ergebnisse der Signifikanzprüfung durch t-Tests. Bil. = Bildhaftigkeit, Kon. = Konkretheit, Bed. = Bedeutungshaltigkeit, Val. = Valenz, Pot. = Potenz, Err. = Erregung, Sil. = Silbenanzahl, Buch. = Buchstabenanzahl, H.i.D. = Häufigkeit im Deutschen

### 2.3.2 Das *think/no-think* Paradigma

Das *think/no-think* Paradigma wurde von Anderson und Green (2001) entwickelt und von Anderson et al. (2004a) zur fMRT-Untersuchung modifiziert, um damit das absichtliche Vergessen als Teil der Exekutivfunktionen näher untersuchen zu können. Der Ablauf des Paradigmas stellt sich wie folgt dar:

In einer initialen Lernphase werden den Probanden Wortpaare am Computerbildschirm präsentiert, wobei erklärt wird, dass das jeweils linke Wort das Schlüsselwort darstellt und das jeweils rechte Wort das Zielwort. In einem zweiten Lerndurchgang besteht die Aufgabe darin, bei Präsentation des linken, des Schlüsselworts, durch Nennung des richtigen Zielworts das Wortpaar korrekt zu ergänzen. Dafür ist es nicht nur wichtig, sich die Wortpaare einzuprägen, sondern es ist zusätzlich von Vorteil, wenn versucht wird, zwischen den beiden – prä-experimentell nicht assoziierten – Wörtern eine Verbindung herzustellen. Die genaue Instruktion hierbei lautet:

*Ihre Aufgabe besteht darin, dass Sie sich die Wortpaare so einprägen, dass Sie, wenn das linke Wort gezeigt wird, das rechte richtig ergänzen können. Dazu ist es wichtig, dass Sie versuchen, zwischen den Wörtern eine Verbindung, eine Assoziation, herzustellen.*

Während des ersten Lerndurchgangs werden die Wortpaare für fünf Sekunden am Bildschirm gezeigt, währenddessen sollen die Probanden sowohl das rechte Wort laut vorlesen, als auch, wenn möglich, sich eine Verbindung zwischen diesen beiden Wörtern überlegen. Wie bereits erwähnt, soll dann in einem zweiten Lerndurchgang versucht werden, die Wortpaare richtig zu ergänzen, dabei haben die Probanden soviel Zeit wie sie brauchen, um die Paare zu vervollständigen. Ob richtig ergänzt oder nicht, auf Mausklick des Untersuchungsleiters wird im Anschluss das komplette Wortpaar noch ein Mal auf dem Bildschirm dargeboten, so dass auch während dieser Phase die Probanden die Möglichkeit erhalten, das Wortpaar korrekt zu enkodieren.

Dieser Lerndurchgang wird so oft wiederholt bis die Probanden mindestens 50 % der Wortpaare richtig vervollständigen können. Im Anschluss daran folgt die kritische *think/no-think* Aufgabe. Hierbei werden, ähnlich wie in der zweiten Lernphase, die linken Wörter auf dem Bildschirm präsentiert, allerdings ohne dass darauf folgend noch das gesamte Wortpaar gezeigt wird. Zusätzlich werden die Items nun in drei Gruppen aufgeteilt, die Response-, die Baseline- und die Suppressionsitems.

Während der *think/no-think* Aufgabe werden die linken Wörter der Responseitems in grüner Farbe präsentiert, hier sollen die Probanden weiterhin versuchen, sich an das dazugehörige Wort zu erinnern. Die Suppressionsitems werden in roter Farbe gezeigt, hier sollen die Probanden versuchen, auch jeglichen Gedanken an das assoziierte Wort zu unterdrücken. Hier lautet die genaue Anweisung:

*Bitte versuchen Sie bei einem in grün präsentierten Wort sich an das dazugehörige, vorhin gelernte Zielwort zu erinnern. Bei einem roten Wort hingegen versuchen Sie bitte, jeden Gedanken an das dazu gelernte Wort zu unterdrücken. Es ist wichtig, dass Sie wirklich so gut wie möglich versuchen, jegliche Erinnerung an diese Wörter zu vermeiden, also die Erinnerung an die Wörter zu supprimieren.*

Ob die Probanden die Anweisung auch richtig umsetzen konnten, wurde an Übungsitems überprüft. So wurde sichergestellt, dass alle Teilnehmer die Anweisungen auch tatsächlich verstanden hatten und die Aufgabe bewältigen konnten.

Die Farbwahl sollte eine Art „Ampel Effekt“ auslösen, wie bei *go/no-go* Aufgaben zur motorischen Inhibition: Hier soll zwar keine motorische, sondern eine kognitive Reaktion inhibiert werden, durch die Farbwahl sollte ein sofortiges Stoppen der Erinnerung ausgelöst

werden bei einem roten Item bzw. die Probanden durch ein grünes Item zum freien Nachdenken aufgefordert werden.

Alle linken Wörter der Response- und der Suppressionsbedingung werden analog zu Anderson und Green (2001) 16mal für vier Sekunden gezeigt, in pseudo-randomisierter Reihenfolge.<sup>1</sup> Die Baselineitems werden während der *think/no-think* Aufgabe nicht auf dem Bildschirm präsentiert. In einem anschließenden finalen Abruf werden noch ein Mal für vier Sekunden alle linken Wörter aller anfangs gelernten Wortpaare dargeboten, die hier wiederum mit ihrem Assoziationspartner ergänzt werden sollen, unabhängig davon, ob sie während der *think/no-think* Aufgabe supprimiert oder abgerufen werden sollten oder gar nicht vorkamen. Hierbei werden nur Antworten als richtig gezählt, die innerhalb des Intervalls von vier Sekunden gegeben werden. Abbildung 4 bildet den Ablauf des Paradigmas schematisch ab.

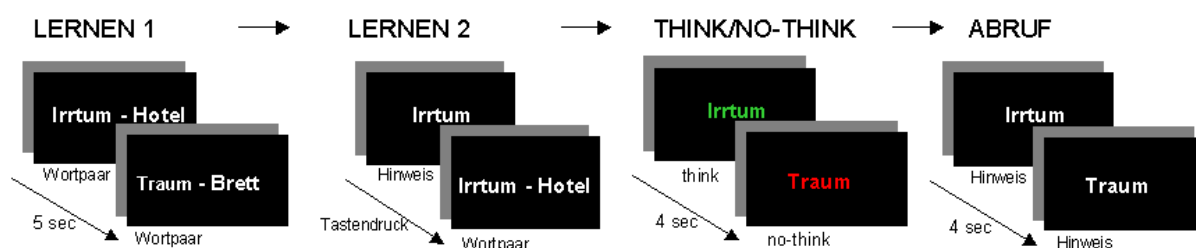


Abb. 4: Ablauf des *think/no-think* Paradigmas adaptiert von Anderson et al. (2004a)

In der vorliegenden Arbeit wurde das *think/no-think* Paradigma stets am selben Rechner durchgeführt und mittels eines Beamers so auf eine Leinwand projiziert, dass die Probanden im Magnetresonanztomographen liegend die Stimuli lesen konnten. Dies galt für die kritische *think/no-think* Aufgabe, welche während einer Untersuchung mittels fMRT durchgeführt wurde. Die Lerndurchgänge sowie der finale Abruf wurden immer an dem selben Computer im Vorraum durchgeführt, diesmal an einem Röhrenmonitor von 17 Zoll Diagonale. Wie in Abbildung 4 dargestellt wurden die Wörter in weißer Farbe auf schwarzem Hintergrund dargeboten. Die Schriftgröße betrug 44, als Schriftart wurde Arial ausgewählt.

<sup>1</sup> Anderson und Green (2001) variierten in ihrer Studie die Häufigkeit der Wortpräsentation während *think/no-think* (bis maximal 16mal). Die Autoren fanden dabei heraus, dass die Differenz der noch gewussten Wörter der Response- und Suppressionsbedingung um so größer wurde, je öfter die Wörter repetiert wurden, d. h. je öfter sie abgerufen oder inhibiert werden mussten. Deswegen wurde 16mal wiederholt.

## 2.4 Funktionelle Magnetresonanztomographie

### 2.4.1 Methode MRT

Die magnetische Kernspinresonanz wurde 1946 von den amerikanischen Physikern Felix Bloch und Edward Purcell unabhängig voneinander entdeckt, die beide dafür 1952 mit dem Nobelpreis ausgezeichnet wurden. Anwendungsbereiche der Kernspinresonanz fanden sich zunächst in der Spektroskopie zur Materialuntersuchung. Auf der Grundlage dessen gab der amerikanische Chemiker Paul C. Lauterbur 1973 den Anstoß zur Entwicklung bildgebender Verfahren (Gertz, 2003).

Die Magnetresonanztomographie ist ein nicht-invasives Bildgebungsverfahren, das die magnetischen Eigenschaften bestimmter Atome im Gehirn ausnutzt, um ein detailliertes, räumlich hoch aufgelöstes Bild der Gehirnstruktur zu erstellen. Mittels des BOLD (*blood oxygenation level dependent*) Effektes wird die Veränderung der lokalisierten Gehirnaktivierung gemessen: Bei Steigerung der neuronalen Aktivität eines Cortexareals erfolgt als physiologische Reaktion eine Zunahme des Sauerstoffverbrauchs und der Durchblutung. Folglich ergibt sich bei zerebraler Aktivierung eine Konzentrationsverschiebung von deoxygeniertem zu oxygeniertem Hämoglobin, was sich in speziell gewichteten Sequenzen (T2\*-Sequenzen, die auch in der hier beschriebenen Untersuchung zum Einsatz kamen) nachweisen lässt. Dabei stellt sich das deoxygenierte Hämoglobin in diesen Sequenzen als paramagnetische Substanz signalarm dar (siehe Kauffmann et al., 2001). Unter zerebraler Aktivierung steigt der lokale Anteil an diamagnetischem Oxyhämoglobin, was in diesen Sequenzen zu einem Signalanstieg führt.

Die Messmethode liefert somit sowohl die Information über die Struktur, als auch über Funktionsweisen des Gehirns. Innerhalb des Tomographen wird ein magnetisches Feld um den Kopf des Probanden erzeugt, so dass sich die Wasserstoffatome im Gehirn entsprechend ausrichten. Wenn der Magnet abgeschaltet wird, kehren sie zu ihrer Normalposition zurück. Der Computer zeichnet diese dabei entstehenden Signale auf und übersetzt sie in ein exaktes Bild des Gehirns (Comer, 2001). Zusätzlich zu der üblichen Transversalschicht kommen noch eine sagittale und eine koronare (frontale) Schichtebene hinzu.

Der große Vorteil der MRT gegenüber der Computertomographie ist, dass keine ionisierenden Strahlen notwendig sind und sie in Bezug auf die Weichteilgewebe deutlich empfindlicher ist.

Darüber hinaus handelt es sich bei der funktionellen MRT um eine Messmethode ohne Kontrastmittel (da deoxygeniertes Hämoglobin über gute Magnetisierbarkeit verfügt, kann es als körpereigenes Kontrastmittel dienen), womit lokale kortikale Aktivität ohne radioaktive Tracersubstanzen dargestellt werden kann. Die funktionelle MRT hat aufgrund dieser Vorteile auf dem Gebiet der Hirnforschung weite Verbreitung erfahren.

### 2.4.2 Datenakquisition

Die Stimuli wurden mit der Software Presentation<sup>®</sup> (Neurobehavioral Systems, 2005) dargeboten. Diese Software hat eine Trigger-Funktion implementiert, die gewährleistet, dass die selbst erstellten Szenarien zeitlich exakt mit dem Magnetresonanztomographen synchronisiert werden können. Somit ist es möglich, Stimuluspräsentation und die evozierte zerebrale Reaktion zeitlich so genau aufeinander abzustimmen, dass hinterher ein bestimmtes Aktivierungsbild genau einem Stimulus zugeordnet werden kann.

Die bildgebenden Daten wurden mittels BOLD-Kontrast T2\*-gewichteter echoplanarer (EPI Sequenzen) MRT an einem Magnetom Vision (1.5 Tesla) Gerät (Siemens, Erlangen) akquiriert: TR (*time of repetition*): 4400ms, TE (*time of echo*): 100ms, FA (*flip angle*): 90°, Matrix: 64 x 64, FOV (*field of view*): 250mm, Mosaik Sequenz mit Pixelgröße: 3,75mm x 3,75mm. Die Aufnahmen erfolgten parallel zur ACPC-Linie (anteriore und posteriore Kommissur). Das Paradigma wurde in vier separaten Durchgängen (*runs*) durchgeführt, die aus jeweils 96 Volumina (Aufnahmen) bestanden. Das Paradigma wurde *event-related* (ereigniskorreliert) gemessen, das bedeutet, dass pro Stimulus eine komplette Aufnahme des Gehirns stattfand. Das Gehirn wurde in 28 Schichten von 4mm Schichtdicke erfasst. Als anatomische Referenz wurden T1-gewichtete, deutlich höher auflösende Aufnahmen mit 144 Schichten (Schichtdicke 1,25mm) verwendet: TR: 4,4ms, TE: 11,4ms, FA: 8°, Matrix: 256 x 256, FOV: 270mm, Pixelgröße: 1,05mm x 1,05mm.

Die gesamte MRT-Untersuchung (funktionelle und anatomische Daten) dauerte in etwa 40 Minuten. Die Probanden lagen während dieser Zeit auf dem Rücken im MR-Tomographen. Sie wurden gebeten, den Kopf so wenig wie möglich zu bewegen, zusätzlich wurde er durch Kopfstützen stabilisiert und fixiert. Die Stimuli wurden von einem Computer im Vorraum aus mittels eines Beamers auf eine ca. 1,60m entfernte Leinwand projiziert. Die Probanden konnten durch einen an der Kopfspule befestigten Spiegel die Stimuli lesen. Die Entfernung vom Spiegel zur Leinwand betrug in etwa 3m, der Spiegel war ungefähr 15cm von den Augen der Teilnehmer entfernt. Der Raum war abgedunkelt, so dass die Stimuli auf

der Leinwand gut erkennbar waren. Während der kompletten Untersuchungszeit hielten die Probanden eine Alarmtaste in der Hand, mit der sie sich notfalls bemerkbar machen konnten, falls sie die Untersuchung wegen plötzlicher Platzangst im Tomographen oder aus anderen Gründen abbrechen wollten.

### 3. Untersuchungsablauf

Die vollständige Datenerhebung der Studie erfolgte zwischen November 2005 und November 2006. Mit allen Probanden wurde im telefonischen Erstkontakt bereits ein eingehendes Anamnesegespräch geführt, mittels dessen frühere und aktuelle psychiatrische oder neurologische Krankheiten sowie Substanzmissbrauch ausgeschlossen wurden. Lagen keine Gründe vor, warum ein Proband von der Teilnahme an der Studie ausgeschlossen werden müsste, wurde ein erster Termin für die neuropsychologische Testung vereinbart. Hier wurde eine detaillierte Anamnese in Ergänzung zur telefonischen erhoben.

Beide Probandengruppen wurden bei diesem ersten Termin, der etwa drei Stunden dauerte, ausführlich neuropsychologisch getestet, bei einem weiteren Termin, der im Klinikum Großhadern stattfand, wurde das *think/no-think* Paradigma während einer MRT-Untersuchung durchgeführt. Der zweite Termin, der im Abstand von ein bis zwei Wochen durchgeführt wurde, nahm ungefähr zwei weitere Stunden Zeit in Anspruch.

Beim ersten Termin wurde als erstes das Anamnesegespräch geführt. Dabei wurden Fragen zum Ausbildungsniveau und beruflichen Werdegang der Probanden gestellt, sowie eventuelle psychiatrische und neurologische aktuelle und frühere Erkrankungen, Kopfverletzungen, Substanzmissbrauch und eventuelle Medikation erhoben. Auch die Screeningfragen des SKID I (Wittchen et al., 1997) zum Ausschluss von aktuellen psychiatrischen Erkrankungen wurden während dieses Gespräches erfasst. Darüber hinaus füllten die jüngeren Probanden den Screeningfragebogen des SKID II (Wittchen et al., 1997) aus, womit aktuelle Persönlichkeitsstörungen ausgeschlossen wurden. Im Anschluss wurde die neuropsychologische Testbatterie, die größtenteils aus standardisierten Messverfahren

bestand, durchgeführt, um das allgemeine Leistungsniveau, die Gedächtnis- und Aufmerksamkeitsleistungen, sowie Exekutivfunktionen der Teilnehmer beurteilen zu können.

Beim zweiten Termin wurde die Untersuchung mittels funktioneller MRT durchgeführt. Über die Funktionsweise des MRT wurden alle Probanden mündlich und schriftlich aufgeklärt, darüber hinaus wurde sichergestellt, dass die Teilnehmer keine Metallteile am oder im Körper trugen, die von der magnetischen Strahlung erhitzt oder in ihrer Funktionsweise beeinträchtigt (z.B. Spirale oder Herzschrittmacher) werden könnten.

Jeder Teilnehmer bestätigte schriftlich die Einwilligung zum genau beschriebenen Vorgehen (ein Exemplar dieser Einverständniserklärung befindet sich im Anhang) und erhielt 50 Euro für die Teilnahme an beiden Terminen der Untersuchung. Eine Genehmigung des Studienprotokolls durch die zuständige Ethikkommission der LMU liegt vor.

## **4. Statistische Auswertung**

### **4.1 Auswertung der Verhaltensdaten**

Die Auswertung der erhobenen Verhaltensdaten erfolgte mit der Software *Statistical Product and Service Solutions* SPSS 14.0 (SPSS Inc., 2005).

Bezüglich der demographischen Informationen wurden die beiden Probandenstichproben hinsichtlich Alter und Verbal-IQ mittels t-Tests verglichen. Die Analyse der Geschlechterverteilung sowie des Ausbildungsgrades pro Gruppe wurde mit Chi-Quadrat nach Pearson durchgeführt. Aufgrund der geringen Stichprobengröße wurde in der Studie darauf verzichtet, auf Normalverteilung zu prüfen. Die Varianzhomogenität wurde mit dem Levene-Test überprüft, entsprechend werden die Werte für homogene oder inhomogene Varianzen angegeben. Um die Ergebnisse aus den eingesetzten experimentellen Verfahren (*KSSE*, *Emotionaler Stroop*, *think/no-think Paradigma*) vergleichen zu können, wurden t-Tests bzw. gepaarte t-Tests gerechnet. Die Auswertung der standardisierten neuropsychologischen Verfahren erfolgte analog zu den demographischen Daten. Als kritisches Signifikanzniveau wurde ein  $\alpha$  von 0.05 festgesetzt.

## 4.2 Auswertung der fMRT-Daten

Die fMRT-Daten wurden mit *BrainVoyager QX* (Goebel, 2006) ausgewertet. Da die Aktivierungen aller Teilnehmer miteinander verglichen werden sollten, war es notwendig, die Gehirne hinsichtlich Größe und Form auf eine allgemeingültige, standardisierte Referenz abzubilden. Als Referenz diente hierfür ein stereotaktisches Koordinatensystem, der so genannte Talairachraum (Talairach & Tournoux, 1988). Mit Hilfe dieses Referenzgehirns kann jedes *Voxel* (3-dimensionales Pixel der tomographischen Bilder) einem genauen Punkt im Koordinatensystem zugeordnet werden. Unter Verwendung eines Hirnatlanten (in der vorliegenden Arbeit wurde *LORETA* von Pasqual-Marqui et al., 1994, verwendet) können dann die entsprechenden Koordinaten den anatomischen Gehirnstrukturen zugeordnet werden.

Zunächst werden die in das Programm *BrainVoyager* eingelesenen tomographischen Rohdaten einer Bewegungskorrektur (*motion correction*) unterzogen. Der erste aufgenommene *scan* (die erste funktionelle Aufnahme) dient hierbei als Referenz, die Bewegungskorrektur erfolgt in sechs verschiedene Richtungen. Somit können Auf- und Ab-, Vor-, Zurückbewegungen und Bewegungen nach links und rechts korrigiert werden. Diese Korrektur ist von wesentlicher Bedeutung für die Daten, da bereits geringe Abweichungen zu Ungenauigkeiten führen können, bedenkt man, wie differenziert die Einteilung der unterschiedlichen Hirnareale vorliegt.

Anschließend werden die Daten zeitlich korrigiert (*slice scan time correction* und *temporal smoothing*), wobei einerseits die unterschiedlichen Akquisitionszeiten pro Schicht korrigiert werden (für die Weiterverarbeitung der Daten wird unterstellt, dass das komplette Gehirn zu einem Zeitpunkt aufgenommen wird und nicht Schicht für Schicht in zeitlicher Abfolge) und andererseits die Signalkurve mittels eines Hoch- und eines Tiefpassfilters zeitlich geglättet und somit das Signal-Rausch-Verhältnis gebessert wird. Außerdem werden lineare Trends entfernt (*linear trend removal*).

Nach der Vorverarbeitung der funktionellen Daten werden die anatomischen Daten, die dazu dienen, dass die funktionellen Aktivierungen den anatomischen Strukturen zugeordnet werden können, eingelesen. Diese Daten werden mit den funktionellen anhand der Header-Information co-registriert, zur Perfektionierung der Deckungsgleichheit können manuelle Korrekturen durchgeführt werden. Im Anschluss werden die anatomischen Daten anhand von acht Referenzpunkten (anteriore und posteriore Kommissur, sowie die jeweils äußersten



Punkte oben, unten, vorne, hinten, links und rechts) in den standardisierten Talairachraum transformiert. Dieses transformierte Bild wird mit den funktionellen Bildern verknüpft, so dass in der entstehenden Datei nun die strukturellen, wie funktionalen Informationen enthalten sind, sowie die zeitliche Abfolge der Aktivierungen (*volume time course, vtc*). Diese *vtc*-Datei enthält nun alle Informationen in optimierter Weise und wird zur weiteren statistischen Auswertung verwendet. In der vorliegenden Arbeit wurden die funktionalen Daten der jüngeren Probanden auf ein standardisiertes Gehirn eines jüngeren Teilnehmers projiziert dargestellt; analog dazu wurden die funktionalen Daten der älteren auf einem standardisierten Gehirn eines älteren Probanden abgebildet (siehe entsprechende Abbildungen im Ergebnisteil).

In der vorliegenden Analyse wurde ein Allgemeines Lineares Modell (*general linear model, GLM*) in Form einer multiplen Regression berechnet. Die separate Analyse der Daten pro Gruppe erfolgte mit Hilfe einer *Fixed Effect Analyse (FEA)*. Bei der FEA geht man davon aus, dass jede Versuchsperson den gleichen Anteil an der beobachteten Aktivierung hat und vernachlässigt somit die Zwischensubjektvariabilität.

Für jeden *run* wurde ein Stimulusprotokoll erstellt, das die Reihenfolge der Stimuli wiedergibt. Diese Protokolle dienen dazu, den Ablauf der verschiedenen Bedingungen (Experimentalbedingungen und Ruhezustand) abzubilden und berücksichtigen gleichzeitig die zu erwartende Verzögerung aufgrund der generischen Form des BOLD-Signals (die hämodynamische Antwort erfolgt nicht sofort bei Stimuluspräsentation, sondern etwas verzögert). Diese Funktion wird als unabhängige Variable im GLM verwendet. Bei der funktionellen MRT besteht das Problem, dass die Datenpunkte in so schneller Folge nacheinander gemessen werden, dass serielle Korrelationen auftreten können (der Korrelationskoeffizient zwischen aufeinander folgenden Sequenzen entspricht nicht 0). Um dieses Problem zu minimieren gibt es das Verfahren der *false discovery rate (FDR)*. Mittels diesen Verfahrens wird der durchschnittliche Anteil falsch-positiver Voxel unter den richtig-positiven kontrolliert. Es wurde für die Datenanalyse ein FDR-Wert  $q = 0,05$  gewählt, das bedeutet, dass nur höchstens 5% der aktivierten Voxel zu den falsch-positiven zählen (Benjamini & Hochberg, 1995).

Die Ergebnisse resultieren aus dem mit der Subtraktionsmethode ermittelten BOLD- Kontrast aus Suppressions- und Responsebedingung. Die Clustergröße wurde so ausgewählt, dass nur Cluster, die aus mindestens 100 Voxel bestehen, angezeigt werden. Damit soll der Anteil an

zufällig auftretenden kleineren Aktivierungen möglichst gering gehalten werden. Allerdings wurde auch darauf geachtet, dieses Niveau nicht zu streng zu wählen, damit nicht Aktivierungen von kleineren Strukturen (beispielsweise des Hippocampus) übersehen werden.

### III. Ergebnisse

## 1. Ergebnisse aus den Fragebögen und den neuropsychologischen Verfahren

### 1.1 Ergebnisse des Angstfragebogens

Vor der Untersuchung im Magnetresonanztomographen füllten alle Probanden beide Versionen des *State-Trait-Angstinventars* (im Folgenden: STAI) aus, damit ihre habituelle und situative Ängstlichkeit überprüft werden konnte. In beiden Versionen des STAI lagen die Mittelwerte der standardisierten T-Werte der Probanden im Normbereich (STAI-1:  $M_{\text{alt}} = 45,8$ ,  $SD_{\text{alt}} = 8,70$ ;  $M_{\text{jung}} = 50,9$ ,  $SD_{\text{jung}} = 7,65$ ; STAI-2:  $M_{\text{alt}} = 48,6$ ,  $SD_{\text{alt}} = 7,85$ ;  $M_{\text{jung}} = 47,3$ ,  $SD_{\text{jung}} = 8,98$ ) und kein Teilnehmer erreichte einen Wert von zwei Standardabweichungen oder mehr über dem Mittelwert. Das Ergebnis bedeutet, dass die MRT-Untersuchung von keinem Teilnehmer als besondere Belastung empfunden wurde und keine angstbezogene Pathologie vorlag. Wie die Mittelwerte zeigen, waren die älteren Probanden im Allgemeinen etwas ängstlicher als die jüngeren (STAI-2), während die jüngeren Teilnehmer eher in der speziellen Untersuchungssituation höhere Werte im STAI-1 erreichten. Die Gruppen unterschieden sich jedoch nicht signifikant voneinander. Tabelle 6 gibt einen Überblick über die mittleren Rohwerte pro Gruppe und die Signifikanzprüfung der Gruppenunterschiede in beiden Teilen des STAI (t-Test).

Eine Varianzanalyse mit dem Gruppenfaktor Alter und dem Messwiederholungsfaktor STAI-Version ergab für die beschriebene Wechselwirkung lediglich einen Trend  $F(1,28; \text{koriigiert nach Greenhouse-Geisser}) = 3,39$ ;  $p = 0,076$ , ein Haupteffekt des Alters zeigte sich nicht. Somit lassen sich die beiden Gruppen hinsichtlich der erfassten Ängstlichkeit als homogen betrachten.

Tabelle 6: Gruppenunterschiede im STAI 1 und 2

	jüngere		ältere		t	p
	M	SD	M	SD		
STAI-1	35,6	7,24	33,4	9,12	0,73	0,470
STAI-2	32,7	8,44	35,7	6,72	-1,05	0,301

Die Ergebnisse aus dem KSSE werden im Abschnitt über das experimentelle Paradigma genau beschrieben. Da die Screeningfragebögen SKID I und II lediglich als Ein- und Ausschlusskriterien fungierten und nur Probanden mit unauffälligen Ergebnissen in die Studie eingeschlossen wurden, wird auf die Darstellung der individuellen Resultate verzichtet.

## 1.2 Ergebnisse der neuropsychologischen Testbatterie

Um Unterschiede zwischen den Testleistungen der beiden Gruppen hinsichtlich der standardisierten Untersuchungsverfahren zu erfassen, wurden t-Tests gerechnet.

Unterschiede zwischen den Gruppen fanden sich vor allem in den Exekutivfunktionen und generell in den geschwindigkeitsbezogenen Aufgaben.

### 1.2.1 Exekutivfunktionen

In den Aufgaben, die exekutive Funktionen überprüfen, schnitten die jüngeren Probanden größtenteils deutlich besser ab als die älteren. Im computergestützten *Halstead Category Test* (HCT) unterliefen den älteren Probanden deutlich mehr Fehler ( $M = 53,9$ ,  $SD = 18,82$ ) als den jüngeren ( $M = 29,3$ ,  $SD = 14,96$ ), wie in Abbildung 5 dargestellt ist. Dieser Unterschied erreichte hohe statistische Signifikanz ( $t = -3,95$ ;  $p \leq 0,001$ ).

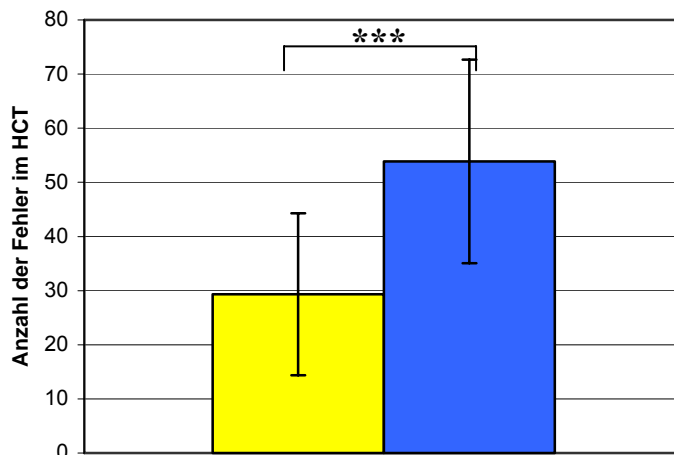


Abb. 5: Mittelwerte und Standardabweichungen im HCT bezüglich Fehleranzahl (gelb = junge, blau = ältere Teilnehmer) und das Ergebnis der Signifikanzprüfung mittels t-Tests

Weiterhin zeigte die Gruppe der älteren Probanden signifikant niedrigere Leistungen im *Bilderordnen* ( $M_{\text{jung}} = 41,8$ ,  $SD_{\text{jung}} = 6,8$ ;  $M_{\text{alt}} = 34,5$ ,  $SD_{\text{alt}} = 10,3$ ;  $t = 2,30$ ;  $p = 0,029$ ) und im *Mosaik-Test* des HAWIE-R ( $M_{\text{jung}} = 42,7$ ,  $SD_{\text{jung}} = 5,7$ ;  $M_{\text{alt}} = 33,0$ ,  $SD_{\text{alt}} = 6,2$ ;  $t = 4,454$ ;  $p \leq 0,001$ , siehe Abbildung 6).

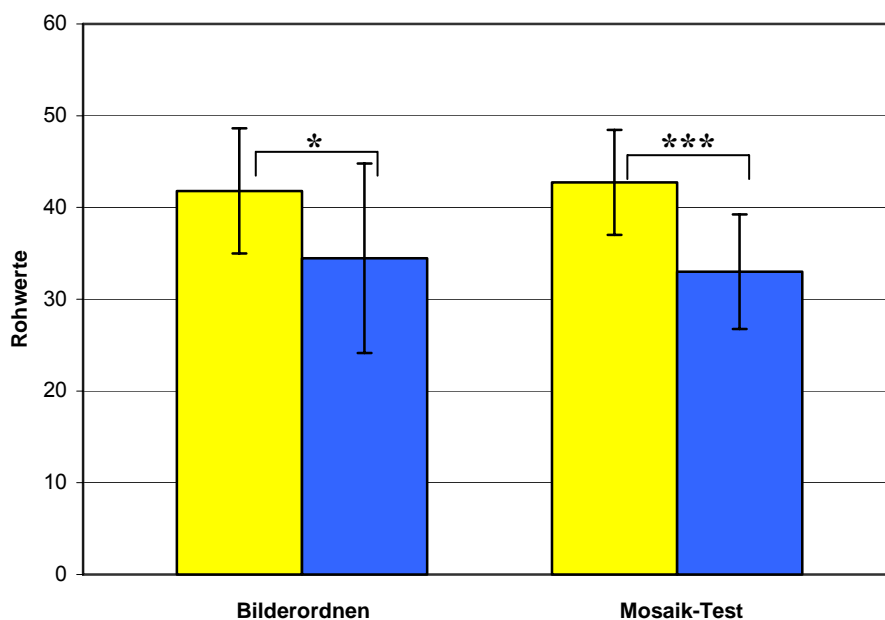


Abb. 6: Mittelwerte und Standardabweichungen *Bilderordnen* und *Mosaiktest* (gelb = junge, blau = ältere) Teilnehmer und Ergebnisse der Signifikanzprüfung mittels t-Tests

Im *Trail Making Test* Teil B fand sich bei den älteren Teilnehmern eine deutlich langsamere Bearbeitungszeit als bei den jüngeren. Dabei benötigten die älteren Personen im Mittel 70,9 Sekunden ( $SD = 22,1$ ), um die Aufgabe zu bearbeiten, was den jüngeren in deutlich kürzerer Zeit gelang:  $M = 45,5$ ,  $SD = 12,1$ . Bildlich dargestellt finden sich die Unterschiede pro Gruppe inklusive der Ergebnisse der Signifikanzprüfung in Abbildung 8 ( $t = -3,9$ ;  $p = 0,001$ ). In der Inhibitionsaufgabe *go/no-go* aus der TAP reagierten die jüngere Probanden signifikant schneller als die älteren auf die dargebotenen Stimuli:  $M_{\text{jung}} = 350$ ,  $SD_{\text{jung}} = 36,3$ ;  $M_{\text{alt}} = 403$ ,  $SD_{\text{alt}} = 80,9$ ;  $t = -2,3$ ;  $p = 0,031$  (siehe Abbildung 9).

Im *Farbe-Wort-Interferenzttest* fanden sich keine Unterschiede hinsichtlich der Bearbeitungszeit der einzelnen Tafeln, also keine Verschiedenheiten in der Lese- und Benennungsgeschwindigkeit bzw. in der Schnelligkeit der Bearbeitung der Interferenzaufgabe (genaue Werte befinden sich im Anhang). Jedoch fanden sich Gruppenunterschiede hinsichtlich der jeweiligen Differenzen NOM und SEL: Die älteren zeigten relativ zur Lesegeschwindigkeit eine schnellere Benennensleistung ( $M = -2,00$ ;  $SD = 5,64$ ), während hier die jüngeren weniger gut abschnitten ( $M = 3,27$ ;  $SD = 6,97$ ). Die jüngeren hingegen zeigten sich weniger interferenzanfällig ( $M = -5,20$ ;  $SD = 7,73$ ) als die älteren Teilnehmer ( $M = 1,13$ ;  $SD = 5,66$ ). Die Unterschiede erreichten jeweils statistische Signifikanz im t-Test: NOM:  $t = 2,27$ ,  $p = 0,031$ ; SEL:  $t = -2,56$ ,  $p = 0,016$ , die Mittelwerte und Standardabweichungen sowie die Ergebnisse der Signifikanzprüfung sind in Abbildung 7 dargestellt.

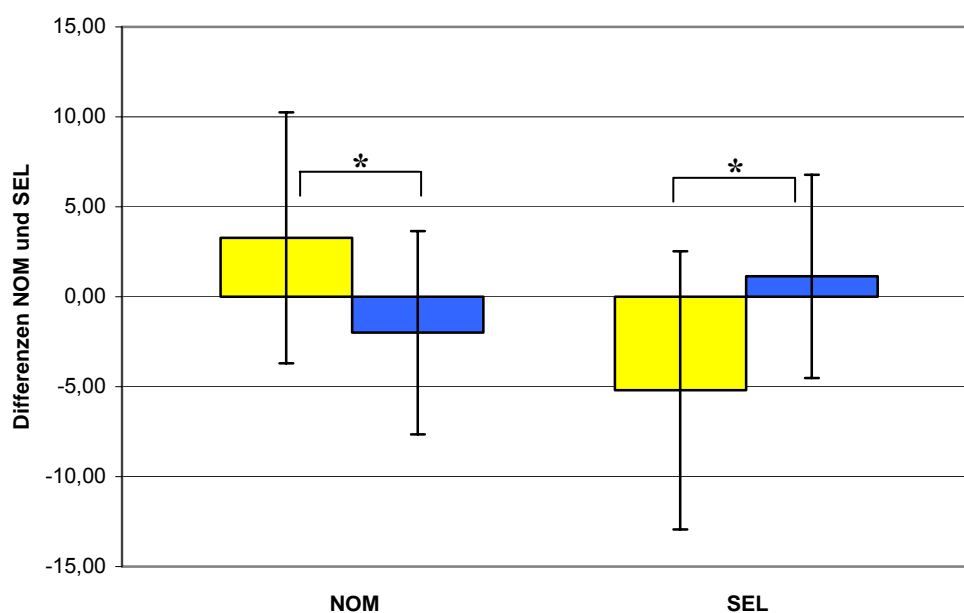


Abb. 7: Mittelwerte und Standardabweichungen FWIT: Differenzen NOM und SEL (gelb = junge, blau = ältere Teilnehmer) und Ergebnisse der Signifikanzprüfung mittels t-Tests

### 1.2.2 Geschwindigkeitsbezogene Aufgaben generell

Auch im Teil A des *Trail Making Tests* TMT erreichten die jüngeren Probanden signifikant schnellere Bearbeitungszeiten als die Gruppe der älteren:  $M_{\text{jung}} = 21,7$ ,  $SD_{\text{jung}} = 6,44$ ;  $M_{\text{alt}} = 38,7$ ,  $SD_{\text{alt}} = 11,80$ ;  $t = -4,90$ ;  $p \leq 0,001$ , siehe Abbildung 8.

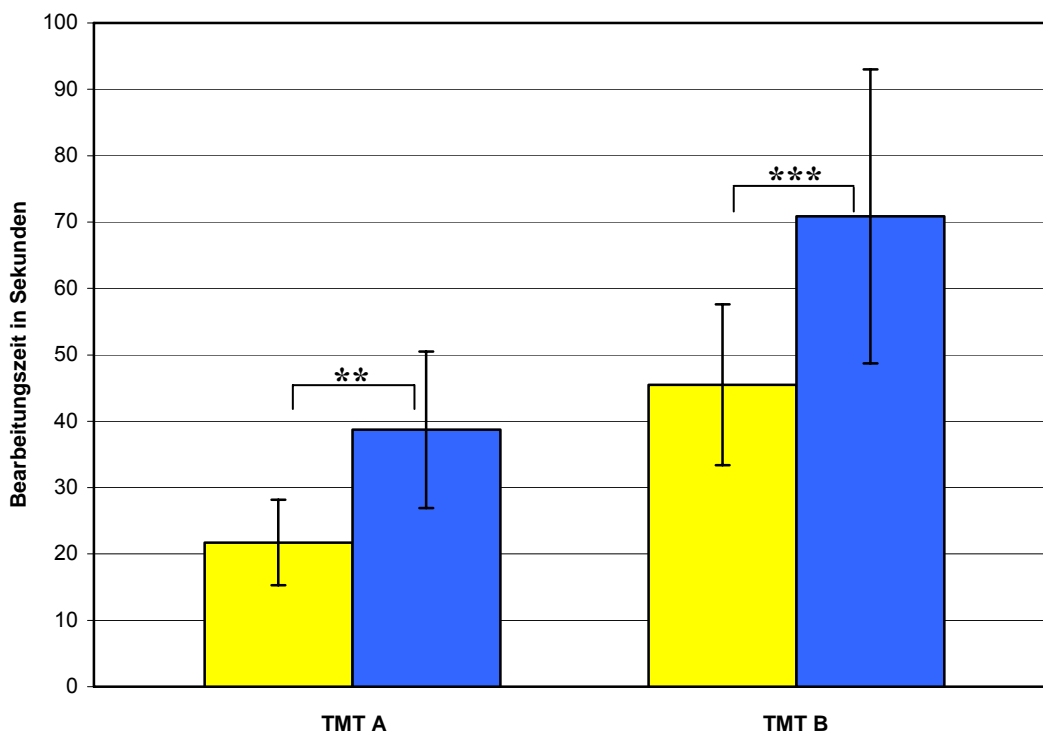


Abb. 8: Mittelwerte und Standardabweichungen TMT A & B (gelb = junge, blau = ältere Teilnehmer) und Ergebnisse der Signifikanzprüfung mittels t-Tests

Auch hinsichtlich der Reaktionszeiten in den Untertests der *Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung* TAP erzielten die jüngeren signifikant kürzere Zeiten und machten zudem deutlich weniger Fehler: Der Subtest zur basalen Aufmerksamkeitszuwendung *Alertness* ohne ( $M_{\text{jung}} = 212$ ,  $SD_{\text{jung}} = 13,6$ ;  $M_{\text{alt}} = 312$ ,  $SD_{\text{alt}} = 124,3$ ;  $t = -3,10$ ;  $p = 0,008$ ) und mit Warnton ( $M_{\text{jung}} = 206$ ,  $SD_{\text{jung}} = 12,8$ ;  $M_{\text{alt}} = 295$ ,  $SD_{\text{alt}} = 122,9$ ;  $t = -2,81$ ;  $p = 0,014$ ) fiel signifikant unterschiedlich aus, die jüngeren reagierten hier durchweg schneller als die älteren Probanden auf die dargebotenen Reize. Im Subtest *Arbeitsgedächtnis* fanden sich Unterschiede tendenziell hinsichtlich der Reaktionszeit und der Anzahl der Auslassungen ebenfalls zu Gunsten der jüngeren (Reaktionszeit:  $M_{\text{jung}} = 480$ ,  $SD_{\text{jung}} = 140,9$ ;  $M_{\text{alt}} = 602$ ,  $SD_{\text{alt}} = 205,2$ ;  $t = -1,90$ ;  $p = 0,069$ ; Auslassungen:  $M_{\text{jung}} = 0,40$ ,  $SD_{\text{jung}} = 0,63$ ;  $M_{\text{alt}} = 0,93$ ,  $SD_{\text{alt}} = 0,88$ ;  $t = -1,90$ ;  $p = 0,068$ ) sowie signifikante weitere qualitative Abweichungen: Den

älteren unterliefen in diesem Untertest zusätzlich deutlich mehr Fehler als der jungen Vergleichsgruppe:  $M_{\text{jung}} = 1,13$ ,  $SD_{\text{jung}} = 1,60$ ;  $M_{\text{alt}} = 3,80$ ,  $SD_{\text{alt}} = 4,28$ ;  $t = -2,26$ ;  $p = 0,037$ . Im Untertest zum *Reaktionswechsel* reagierten die älteren Probanden hoch signifikant langsamer als die jüngeren ( $M_{\text{jung}} = 635$ ,  $SD_{\text{jung}} = 164,8$ ;  $M_{\text{alt}} = 869$ ,  $SD_{\text{alt}} = 146,2$ ;  $t = -4,12$ ;  $p \leq 0,001$ ). Hinsichtlich der Reaktionszeiten sind die Mittelwerte und Standardabweichungen pro Gruppe sowie die Gruppenunterschiede in Abbildung 9 zu finden.

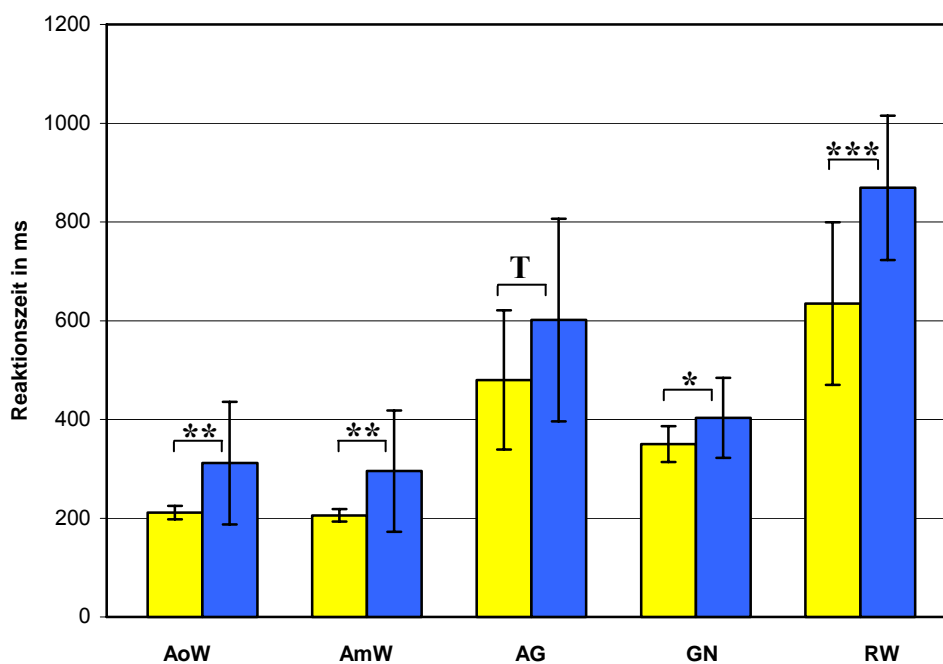


Abb. 9: Mittelwerte und Standardabweichungen in der TAP Reaktionszeiten: AoW = *Alertness* ohne Warnton, AmW = *Alertness* mit Warnton, AG = *Arbeitsgedächtnis*, GN = *go/no-go*, RW = *Reaktionswechsel*; (gelb = junge, blau = ältere Teilnehmer) und Ergebnisse der Signifikanzprüfung mittels t-Test

### 1.2.3 Weitere Testergebnisse mit signifikanten Gruppenunterschieden

Des Weiteren fand sich bei der Berechnung der t-Tests ein signifikanter Gruppenunterschied hinsichtlich des Verbal-IQs, gemessen mit dem WST. Die älteren Probanden schnitten hier deutlich besser ab, indem sie durchschnittlich zwei bis drei Wörter mehr als die jüngeren richtig als tatsächlich existierende Wörter erkannten ( $M_{\text{jung}} = 35,0$ ,  $SD_{\text{jung}} = 1,46$ ;  $M_{\text{alt}} = 37,5$ ,  $SD_{\text{alt}} = 2,92$ ;  $t = -2,92$ ;  $p = 0,008$ ). Auch im *Rechnerischen Denken*, einem weiteren Subtest des HAWIE-R, erzielte die Gruppe der älteren Probanden die besseren Werte ( $M_{\text{jung}} = 15,1$ ,  $SD_{\text{jung}} = 1,89$ ;  $M_{\text{alt}} = 17,1$ ,  $SD_{\text{alt}} = 1,71$ ;  $t = -2,94$ ;  $p = 0,006$ ).



In den übrigen neuropsychologischen Tests fand sich kein Einfluss der Gruppenzugehörigkeit auf unterschiedliche Leistungen. Einen Überblick über die Ergebnisse mittels t-Test aus allen eingesetzten neuropsychologischen Verfahren beider Gruppen inklusive Mittelwerte und Standardabweichungen gibt nachstehende Tabelle 7.

Tabelle 7: Ergebnisse der neuropsychologischen Testbatterie

Testverfahren (Rohwerte)	jüngere		ältere		t	p	Sign.
	M	SD	M	SD			
<b>Allgemeines Intelligenzniveau</b>							
IQ Rohwert aus WST	35,00	1,46	37,47	2,92	-2,92	0,008	**
HAWIE-R Wortschatztest	27,33	2,16	28,00	2,42	-0,80	0,433	
HAWIE-R Rechn. Denken	15,13	1,89	17,07	1,71	-2,94	0,006	**
HAWIE-R Bilderergänzen	15,80	1,15	15,47	0,92	0,88	0,386	
<b>Exekutivfunktionen</b>							
HAWIE-R Bilderordnen	41,80	6,82	34,47	10,32	2,30	0,029	*
HAWIE-R Mosaiktest	42,73	5,71	33,00	6,25	4,45	≤ 0,001	***
TMT B Rohwert Sekunden	45,47	12,11	70,87	22,13	-3,90	0,001	**
HCT Fehleranzahl	29,33	14,96	53,87	18,82	-3,95	≤ 0,001	***
TAP Go/Nogo Zeit	350	36,26	403	80,89	-2,32	0,031	*
TAP Go/Nogo Fehler	1,53	1,41	2,40	1,99	-1,38	0,180	
TAP Go/Nogo Auslassungen	0,20	0,41	0,67	0,29	-1,33	0,200	
RWT lexikalisch einfach	23,33	5,55	22,40	4,31	0,52	0,611	
RWT lexikalisch Wechsel	22,33	7,76	23,20	4,57	-0,37	0,713	
RWT kategorial einfach	40,87	5,60	40,27	7,47	0,25	0,805	
RWT Kategorial Wechsel	23,00	3,02	25,00	4,07	-1,53	0,138	
FWIT lesen	26,87	2,90	28,47	4,14	-1,23	0,230	
FWIT benennen	45,40	9,30	42,20	6,71	1,08	0,289	
FWIT Interferenzaufgabe	69,00	23,52	72,67	15,63	-0,50	0,619	
FWIT Differenz NOM	3,27	6,97	-2,00	5,64	2,27	0,031	*
FWIT Differenz SEL	-5,20	7,73	1,13	5,66	-2,56	0,016	*
<b>Aufmerksamkeitsleistungen und Arbeitsgedächtnis</b>							
TMT A Rohwert Sekunden	21,73	6,44	38,73	11,80	-4,90	≤ 0,001	***
TAP Alertness ohne Warnton	212	13,62	312	124,3	-3,10	0,008	**
TAP Alertness mit Warnton	206	12,75	295	122,9	-2,81	0,014	*
TAP Arbeitsgedächtnis Zeit	480	140,9	602	205,2	-1,89	0,069	T
TAP Arbeitsgedächtnis Fehler	1,13	1,60	3,80	4,28	-2,26	0,037	*
TAP Arbeitsgedächtnis Ausl.	0,40	0,63	0,93	0,88	-1,90	0,068	T
TAP Reaktionswechsel Zeit	635	164,8	869	146,2	-4,12	≤ 0,001	***
TAP Reaktionswechsel Fehler	2,80	1,74	2,00	1,89	1,21	0,238	
WMS-R Zahlenspanne vw.	9,13	1,55	8,80	2,01	0,51	0,615	
WMS-R Zahlenspanne rw.	8,60	1,45	8,87	1,92	-0,43	0,672	
WMS-R Blockspanne vw.	10,00	1,93	9,60	1,30	0,67	0,510	
WMS-R Blockspanne rw.	9,07	1,71	8,33	1,23	1,35	0,189	

Anmerkungen: Die Ergebnisse der TAP-Subtests sind in ms angegeben.

### 1.2.4 Ergebnisse des Emotionalen Stroop Paradigmas

Um den Strooeeffekt für die betrachteten zwei Valenzen (neutral und negativ) zu erhalten, wird jeweils die mittlere Reaktionszeit in der entsprechenden kongruenten Non-Stroop-Bedingung als Baseline betrachtet (100%) und die jeweiligen Trials der Stroopbedingung im Verhältnis dazu berechnet. In beiden Gruppen fanden sich für beide Valenzen Strooeeffekte, also Werte größer als 100% ( $M > 100$  bedeutet, dass eine Verlangsamung der Reaktion durch die inkongruente Stroopbedingung vorliegt). Insgesamt war dieser Effekt für die neutralen Items innerhalb beider Gruppen etwas stärker ausgeprägt als für die negativen Items (Strooeeffekt: negativ:  $M_{\text{jung}} = 113,9 \%$ ,  $SD_{\text{jung}} = 15,13$ ;  $M_{\text{alt}} = 105,2 \%$ ,  $SD_{\text{alt}} = 7,87$ ; neutral:  $M_{\text{jung}} = 117,4 \%$ ,  $SD_{\text{jung}} = 14,5$ ;  $M_{\text{alt}} = 116,7 \%$ ,  $SD_{\text{alt}} = 11,97$ ). Hinsichtlich des Strooeeffektes der negativen Items fand sich darüber hinaus im t-Test ein tendenzieller Gruppenunterschied:  $t = 2,03$ ;  $p = 0,056$ . Die jüngeren zeigen demnach den Strooeeffekt etwas deutlicher als die älteren für negative Items.

Der emotionale Effekt wird wie folgt kalkuliert: Hier wird die mittlere Reaktionszeit für die neutral konnotierten Stimuli als Baseline verwendet (100%), mit der dann der Mittelwert in den Reaktionszeiten auf die negativen Stimuli verglichen wird. In beiden Gruppen fand sich ein emotionaler Effekt hinsichtlich der negativen Valenz, nämlich Werte unter 100% ( $M < 100$  bedeutet, dass eine Reaktionsbeschleunigung durch die entsprechende Valenz vorliegt): negativ:  $M_{\text{jung}} = 97,9 \%$ ,  $SD_{\text{jung}} = 14,91$ ;  $M_{\text{alt}} = 90,5 \%$ ,  $SD_{\text{alt}} = 6,88$ . Auch hier fand sich im t-Test ein tendenzieller Gruppenunterschied ( $t = 1,75$ ;  $p = 0,096$ ), der besagt, dass die älteren Probanden den emotionalen Effekt etwas deutlicher zeigen.

Insgesamt unterschieden sich die beiden Gruppen deutlich hinsichtlich der Reaktionsgeschwindigkeit, wobei die jüngeren durchgehend schneller reagierten als die älteren. Dieser Effekt zeigte sich in der folgenden Berechnung:

Eine 2 (Stroop / Non-Stroop) \* 2 (Valenz) ANOVA mit Messwiederholung hinsichtlich der Reaktionszeiten ergab einen signifikanten Haupteffekt für Gruppe:  $F(1) = 20,280$ ;  $p \leq 0,001$ . Zusätzlich fanden sich signifikante Innersubjekteffekte für Bedingung\*Valenz  $F(1,28)$ ; korrigiert nach Greenhouse-Geisser) =  $14,324$ ;  $p = 0,001$ .

Eine weitere 2 (Stroop / Non-Stroop) \* 2 (Valenz) ANOVA mit Messwiederholung bezüglich der Fehleranzahl ergab keinerlei signifikante Effekte.

Auch die ferner berechneten t-Tests ergaben signifikante Gruppenunterschiede, die in Tabelle 8 dargestellt sind.

Tabelle 8: Gruppenunterschiede im Emotionalen Stroop Paradigma hinsichtlich der Reaktionszeiten in ms

Bedingung Zeiten	jüngere		ältere		t	p
	M	SD	M	SD		
Insgesamt	600	119,8	781	98,3	-4,54	≤ 0,001
Non-stroop	555	103,6	731	96,7	-4,82	≤ 0,001
Stroop	644	142,2	831	110,0	-4,03	≤ 0,001
Neutral	601	119,6	784	115,9	-4,26	≤ 0,001
Negativ	608	116,0	789	94,5	-4,69	≤ 0,001
Non-Stroop neutral	552	101,7	724	107,1	-4,51	≤ 0,001
Non-Stroop negativ	569	105,3	771	93,9	-5,53	≤ 0,001
Stroop neutral	649	148,4	843	137,8	-3,71	0,001
Stroop negativ	647	138,8	808	104,1	-3,60	0,001

Bezüglich der Fehleranzahl fanden sich lediglich tendenzielle Unterschiede. Sowohl bezüglich der Gesamtfehlerzahl als auch der Fehleranzahl in der Stroopbedingung schnitten die jüngeren Probanden etwas besser ab als die älteren. Eine komplette Auflistung der Fehler pro Gruppe und Bedingung/Valenz ist im Anhang in Tabelle 25 aufgeführt.

Die jüngeren Probanden reagierten deutlich schneller auf die Non-Stroop-Items als auf die Stroopitems. Dieser Unterschied erreichte im gepaarten t-Test statistische Signifikanz auf hohem Niveau:  $M_{\text{Non-Stroop}} = 104$  ms;  $SD_{\text{Non-Stroop}} = 26,7$ ;  $M_{\text{Stroop}} = 142$  ms;  $SD_{\text{Stroop}} = 36,7$ ;  $t = -5,15$ ,  $p \leq 0,001$ . Ansonsten fanden sich keine Unterschiede in den Reaktionszeiten auf die verschiedenen Bedingungen und Valenzen, ebenso wenig ließen sich Unterschiede bezüglich der Fehleranzahlen in den einzelnen Bedingungen ausmachen.

Innerhalb der Gruppe der älteren Probanden ergaben sich folgende bedeutsame Unterschiede im gepaarten t-Test hinsichtlich der Reaktionszeiten in den einzelnen Bedingungen bzw. Valenzen: Die älteren Teilnehmer reagierten ebenfalls bei den Stroopitems deutlich langsamer als bei den Non-Stroop-Items, allerdings war dieser Stroopeffekt zusätzlich unterschiedlich die einzelnen Valenzen betreffend ausgeprägt. Nachfolgende Tabelle 9 gibt einen Überblick über die Unterschiede in den Reaktionszeiten in der Gruppe der älteren Teilnehmer. Bezüglich der Fehleranzahl fanden sich hier wie bei den jüngeren keine Unterschiede.

Tabelle 9: Paarweiser Vergleich der einzelnen Bedingungen mittels gepaarter t-Tests in der Gruppe der älteren Probanden

Vergleichsparameter	M1	SD1	M2	SD2	t	p
Non-Stroop/ Stroop	731	110,0	831	96,7	-5,94	≤ 0,001
Non-Stroop neut / Non-Stroop neg	724	107,1	771	93,9	-4,03	0,001
Stroop neg / Stroop neut	808	104,1	843	137,8	3,03	0,009
Stroopeffekt neg / Stroopeffekt neut	105	7,9	117	12,0	5,01	≤ 0,001

Anmerkungen: Angaben bei M und SD sind in ms bzw. in % (letzte Zeile), M1(SD1) bezieht sich auf den erstgenannten der beiden Vergleichsparameter, M2(SD2) entsprechend auf den zweiten.

Zusammenfassend entsprechen die Testergebnisse der Annahme, dass sich bei den älteren Probanden ein Abbau fluiden Funktionen bei erhaltenen kristallinen Fähigkeiten zeigt. So zeigen sich deutliche Unterschiede hinsichtlich der Informationsverarbeitungs- und Reaktionsgeschwindigkeit sowie der exekutiven Funktionen zwischen den jüngeren und älteren Probanden mit höheren Leistungen in der jüngeren Gruppe. Des Weiteren ist anhand der Ergebnisse davon auszugehen, dass es sich bei den beiden untersuchten Gruppen um homogene Stichproben handelt, die über ein vergleichbares kognitives Ausgangsniveau verfügen und deswegen die gefundenen Effekte nicht auf vorher schon bestehenden Unterschieden zwischen den Gruppen beruhen außer dem Alter, das zwischen den beiden Probandengruppen als Trennfaktor fungiert.

## 2. Ergebnisse des *think/no-think* Paradigmas

### 2.1 Behaviorale Ergebnisse aus dem experimentellen Paradigma

Im Folgenden werden zunächst die Ergebnisse der Verhaltensdaten, die mittels des *think/no-think* Paradigmas gewonnen wurden, dargestellt.

Im Gruppenvergleich zeigte sich ein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Lernleistung beim Erlernen der Wortpaare: Die älteren Probanden benötigten im Mittel mehr als vier Lerndurchgänge ( $M = 4,20$ ,  $SD = 1,70$ ) um die erforderliche Anzahl an Wortpaaren (50 %) richtig ergänzen zu können, während die jüngeren mit durchschnittlich knapp drei Lerndurchgängen deutlich schneller lernten ( $M = 2,87$ ,  $SD = 0,92$ ). Bei den älteren Probanden wurde die Anforderung etwas niedriger angesetzt (33 %), da diese trotz vergleichbarer Leistungen in den abbaustabilen neuropsychologischen Verfahren deutliche Schwierigkeiten hatten, die Wörter zu enkodieren. Der Gruppenunterschied in der Lernleistung erreichte dennoch im t-Test statistische Signifikanz:  $t = -2,68$ ;  $p = 0,014$  und ist in Abbildung 10 dargestellt.

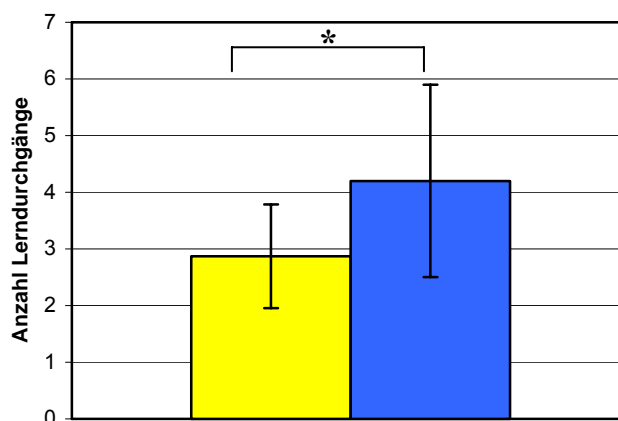


Abb. 10: Mittelwerte und Standardabweichungen der Anzahl der Lerndurchgänge im *think/no-think* Paradigma (gelb = junge, blau = ältere Teilnehmer) und das Ergebnis der Signifikanzprüfung mittels t-Test

Die Abrufleistung der Wörter der einzelnen Bedingungen wurde wie folgt berechnet:  $(\text{Anzahl noch gewusster Wörter pro Bedingung } x / \text{Anzahl gelernter Wörter der Bedingung } x) * 100$ . Somit erhält man pro Bedingung einen relativen Wert, der die Anzahl der richtig abgerufenen Wörter am Ende mit den tatsächlich gelernten Wörter der jeweiligen Bedingung in Beziehung setzt. Dadurch sollte vermieden werden, dass Personen, die sich zufällig die Wörter

beispielsweise der Suppressionsbedingung schlechter merken können, rein dadurch eine höhere Suppressionsleistung zeigen als Personen, die gleichmäßig über die Bedingungen verteilt die Wörter enkodierten. Zugleich korrigiert diese Berechnung auch potenzielle interindividuell gültige Unterschiede in der Schwierigkeit der drei Listen.

Die beiden Gruppen unterschieden sich nicht nur hinsichtlich der Anzahl der Lerndurchgänge, sondern auch bezüglich der relativen Abrufleistungen in allen drei Bedingungen. Innerhalb der jeweiligen Gruppe findet sich jedoch jeweils das gleiche Muster: Wie in Abbildung 11 zu sehen ist, konnten sich die Teilnehmer beider Gruppen am besten an die Responseitems erinnern. Dann folgten die Baselinewörter und an niedrigsten fiel der Abruf der Suppressionsitems aus. Berechnet wurde eine multifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung: 3 (Baseline/Response/Suppression) \* 2 (jüngere/ältere Probanden) ANOVA. Hierbei wurden die drei Bedingungen des Abrufs als abhängige Variable eingesetzt und die Gruppenzugehörigkeit (jünger/älter) als Zwischensubjektfaktor. In dieser Auswertung fand sich ein signifikanter Haupteffekt für Gruppe  $F(1) = 11,316$ ;  $p = 0,002$ ; sowie ein Innersubjekteffekt für Abruf  $F(2,52$ ; korrigiert nach Greenhouse-Geisser)  $= 5,682$ ;  $p = 0,007$ , jedoch kein Interaktionseffekt für Abruf \* Gruppe:  $F(2,52$ ; korrigiert nach Greenhouse-Geisser)  $= 0,193$ ;  $p = 0,810$ .

Die Gruppenunterschiede wurden mittels t-Tests genauer untersucht. Hinsichtlich der Baselinebedingung ließ sich ein signifikanter Unterschied beobachten:  $t = 2,21$ ;  $p = 0,035$  bei  $M_{\text{jung}} = 104,8$ ,  $SD_{\text{jung}} = 33,58$ ;  $M_{\text{alt}} = 77,5$ ,  $SD_{\text{alt}} = 34,13$ . In der Suppressionsbedingung unterschieden sich die Gruppen ebenfalls auf noch statistisch signifikantem Niveau mit  $t = 2,35$ ;  $p = 0,026$  bei  $M_{\text{jung}} = 97,0$ ,  $SD_{\text{jung}} = 22,93$ ;  $M_{\text{alt}} = 76,1$ ,  $SD_{\text{alt}} = 25,88$ , während sich bezüglich der Responsebedingung eine Differenz auf höherem Signifikanzniveau zeigte:  $t = 3,16$ ;  $p = 0,004$  bei  $M_{\text{jung}} = 119,2$ ,  $SD_{\text{jung}} = 18,55$ ;  $M_{\text{alt}} = 91,9$ ,  $SD_{\text{alt}} = 27,87$ .

Die Unterschiede innerhalb der Gruppen zwischen dem Abruf in den einzelnen Bedingungen stellte sich wie folgt dar: Die Abrufunterschiede innerhalb der einzelnen Gruppen wurden mit gepaarten t-Tests auf statistische Signifikanz überprüft. In der Gruppe der jüngeren Probanden fand sich lediglich ein bedeutsamer Unterschied zwischen der Abrufleistung von Suppressions- und Responseitems:  $t = -2,64$ ;  $p = 0,019$  bei  $M_{\text{resp}} = 119,2$ ,  $SD_{\text{resp}} = 18,55$ ;  $M_{\text{supp}} = 97,0$ ,  $SD_{\text{supp}} = 22,93$ , verglich man diese Bedingungen jeweils mit der Baselinebedingung, fand sich keine deutliche Differenz:  $t = 0,91$ ;  $p = 0,381$  bei  $M_{\text{base}} = 104,8$ ,

$SD_{\text{base}} = 33,58$ ;  $M_{\text{supp}} = 97,0$ ,  $SD_{\text{supp}} = 22,93$  und  $t = -1,51$ ;  $p = 0,153$  bei  $M_{\text{base}} = 104,8$ ,  $SD_{\text{base}} = 33,58$ ;  $M_{\text{resp}} = 119,2$ ,  $SD_{\text{resp}} = 18,55$ . In der Gruppe älterer Probanden zeigte sich ein ähnliches Muster, auch hier wurde nur der Unterschied zwischen Suppressions- und Responsebedingung statistisch bedeutsam:  $t = -2,48$ ;  $p = 0,027$  bei  $M_{\text{resp}} = 91,9$ ,  $SD_{\text{resp}} = 27,87$ ;  $M_{\text{supp}} = 76,1$ ,  $SD_{\text{supp}} = 25,88$ , im Vergleich zu den Baselineitems, fand sich hinsichtlich beider Kombinationen keine deutliche Differenz:  $t = 0,20$ ;  $p = 0,85$  bei  $M_{\text{base}} = 77,5$ ,  $SD_{\text{base}} = 34,13$ ;  $M_{\text{supp}} = 76,1$ ,  $SD_{\text{supp}} = 25,88$  und  $t = -1,57$ ;  $p = 0,139$  bei  $M_{\text{base}} = 77,5$ ,  $SD_{\text{base}} = 34,13$ ;  $M_{\text{resp}} = 91,9$ ,  $SD_{\text{resp}} = 27,87$ .

Einen Überblick über die Gruppen- und Innergruppenunterschiede bietet Abbildung 11.

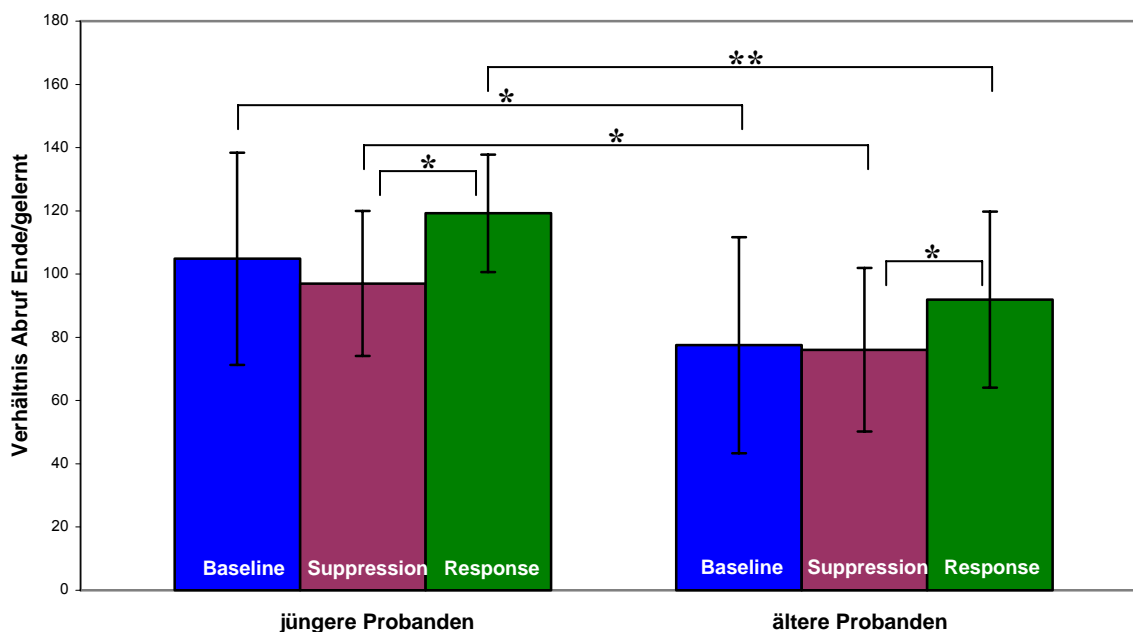


Abb. 11: Ergebnisse im finalen Abruf des *think/no-think* Paradigmas, Gruppenunterschiede im t-Test und Innergruppenunterschiede im gepaarten t-Test

Aufgrund deutlicher Unterschiede in der Lernleistung (siehe Tabelle 10, t-Test) ließ sich die Gruppe der älteren Probanden in zwei Subgruppen aufteilen, ältere Probanden mit höherem kognitiven Funktionsniveau ( $n = 10$ ) und ältere mit eher niedrigerem kognitiven Funktionsniveau ( $n = 5$ ). Die Probanden mit dem niedrigeren Niveau benötigten nahezu doppelt so viele Lerndurchgänge wie die leistungsstärkere Untergruppe. Die beiden Gruppen wurden hinsichtlich ihrer Abrufmuster noch getrennt ausgewertet, diese Ergebnisse werden im Folgenden dargestellt und erläutert.

Tabelle 10: Unterschiede in der Lernleistung in zwei Subgruppen der älteren Probandengruppe

	Subgr. mit hohem kog. Funkt. M(SD)	Subgr. mit niedrigerem kog. Funkt. M(SD)	t	p
Lerndurchgänge	3,2 (0,92)	6,2 (0,84)	-6,12	≤ 0,001

Die Verteilungen der Abrufleistungen im Einzelnen stellen sich wie folgt dar: Weder in der Gruppe mit hoch ausgeprägten Lernleistungen noch in der mit den niedrigeren wurde der Unterschied zwischen Baseline- und Suppressionsbedingung im finalen Abruf im gepaarten t-Test signifikant, d.h. in keiner der beiden Gruppen fand sich der Suppressionseffekt. In der Gruppe der Probanden mit dem höheren kognitiven Funktionsniveau fand sich ein ähnliches Muster wie in der Gruppe der jüngeren Probanden (siehe Abbildung 12), hier unterschieden sich jedoch keine der Bedingungen im paarweisen Vergleich statistisch signifikant voneinander:  $t = -1,64$ ;  $p = 0,136$  bei  $M_{\text{resp}} = 101,6$ ,  $SD_{\text{resp}} = 27,29$ ;  $M_{\text{supp}} = 86,6$ ,  $SD_{\text{supp}} = 25,09$ ;  $t = 0,60$ ;  $p = 0,564$  bei  $M_{\text{base}} = 91,8$ ,  $SD_{\text{base}} = 26,24$ ;  $M_{\text{supp}} = 86,6$ ,  $SD_{\text{supp}} = 25,09$  und  $t = -0,94$ ;  $p = 0,372$  bei  $M_{\text{base}} = 91,8$ ,  $SD_{\text{base}} = 26,24$ ;  $M_{\text{resp}} = 101,6$ ,  $SD_{\text{resp}} = 27,29$ .

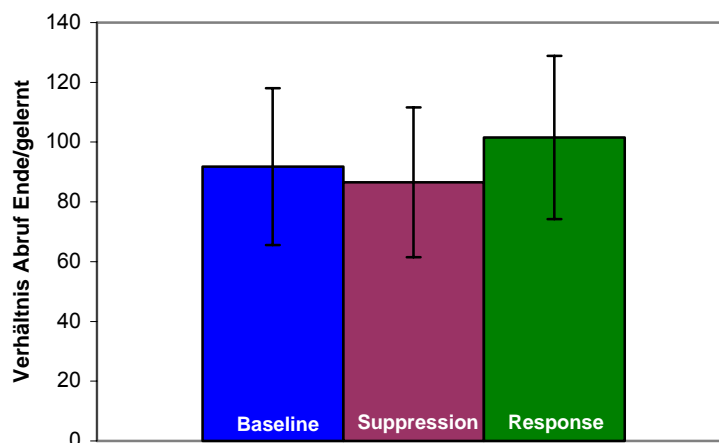


Abb. 12: Innergruppenunterschiede der älteren Probanden mit eher höherem kognitiven Funktionsniveau im gepaarten t-Test im *think/no-think* Paradigma

In der Gruppe der älteren Probanden mit eher niedrigerem kognitiven Funktionsniveau fand sich ein tendenzieller Unterschied zwischen der Abrufleistung von Suppressions- und Responseitems:  $t = -2,41$ ;  $p = 0,073$  bei  $M_{\text{resp}} = 72,8$ ,  $SD_{\text{resp}} = 18,62$ ;  $M_{\text{supp}} = 55,0$ ,  $SD_{\text{supp}} = 9,84$ , verglich man diese Bedingungen jeweils mit der Baselinebedingung, fand sich keine deutliche Differenz:  $t = -0,41$ ;  $p = 0,704$  bei  $M_{\text{base}} = 49,0$ ,  $SD_{\text{base}} = 31,70$ ;  $M_{\text{supp}} = 55,0$ ,



$SD_{\text{supp}} = 9,84$  und  $t = -1,24$ ;  $p = 0,284$  bei  $M_{\text{base}} = 49,0$ ,  $SD_{\text{base}} = 31,70$ ;  $M_{\text{resp}} = 72,8$ ,  $SD_{\text{resp}} = 18,62$ . Allerdings zeigte sich in dieser Gruppe ein anderes Muster hinsichtlich der drei Bedingungen, siehe Abbildung 13.

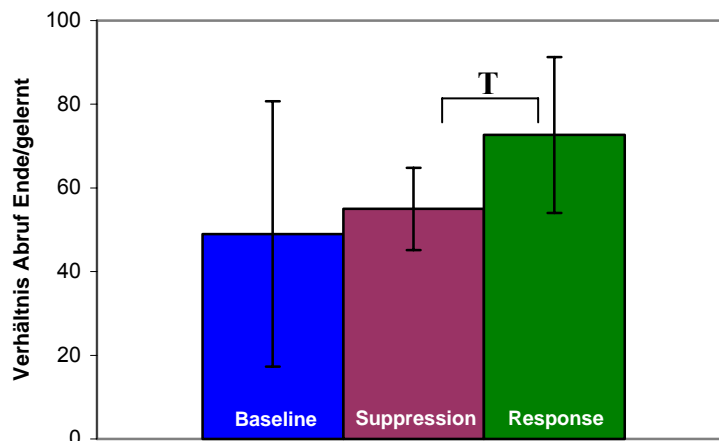


Abb. 13: Innergruppenunterschiede der älteren Probanden mit eher niedrigerem kognitiven Funktionsniveau im gepaarten t-Test im *think/no-think* Paradigma

## 2.2 Ergebnisse aus dem Kontrollfragebogen zur subjektiven Suppressions-einschätzung

Der selbst erstellte *Kontrollfragebogen zur subjektiven Suppressionseinschätzung* (im Folgenden KSSE) wurde den Probanden zum Ausfüllen gegeben, nachdem sie das *think/no-think* Paradigma absolviert hatten.

Es fanden sich im t-Test bezüglich keiner Frage signifikante Gruppenunterschiede, einen Überblick darüber gibt Tabelle 11 (die erste Frage wurde weggelassen, da sie von allen Teilnehmern ausnahmslos mit „ja“ beantwortet wurde).

Der Fragebogen ergab, dass alle Probanden zumindest versucht hatten, die Erinnerung an die gelernten Wörter von ihrem Bewusstsein fernzuhalten. Dennoch mussten die Probanden im Durchschnitt doch gelegentlich (0 = nie, 4 = sehr oft;  $M_{\text{insg}} = 1,87$ ,  $SD_{\text{insg}} = 0,86$ ) an die zu unterdrückenden Wörter denken, wobei die älteren hier größere Schwierigkeiten mit dem Supprimieren angaben als die jüngeren:  $M_{\text{alt}} = 2,07$ ,  $SD_{\text{alt}} = 0,88$ ;  $M_{\text{jung}} = 1,67$ ,  $SD_{\text{jung}} = 0,82$ ). Entsprechend schätzten die jüngeren Probanden sich beim Unterdrücken der vorher gelernten Wörter als erfolgreicher ein als die älteren, beide Gruppen betrachteten ihre Leistung jedoch eher als mäßig (0 = überhaupt nicht erfolgreich, 4 = sehr erfolgreich;  $M_{\text{insg}} = 2,03$ ,

$SD_{\text{insg}} = 0,96$ ;  $M_{\text{jung}} = 2,20$ ,  $SD_{\text{jung}} = 0,78$ ;  $M_{\text{alt}} = 1,87$ ,  $SD_{\text{alt}} = 1,13$ ). Insgesamt gaben alle Probanden an, sich ziemlich angestrengt zu haben, ein vorher gelerntes Wort zu unterdrücken (0 = überhaupt nicht angestrengt, 4 = sehr angestrengt;  $M_{\text{insg}} = 2,80$ ,  $SD_{\text{insg}} = 0,96$ ), die jüngeren sagten aus, sich dabei mehr bemüht zu haben als die älteren:  $M_{\text{jung}} = 3,00$ ,  $SD_{\text{jung}} = 0,85$ ;  $M_{\text{alt}} = 2,60$ ,  $SD_{\text{alt}} = 1,06$ . Die meisten Probanden (24 von 30) hatten beim finalen Abruf nicht den Eindruck sich an die Suppressionswörter weniger gut erinnern zu können als an die Responseitems, wobei sich diese Tendenz stärker bei den jüngeren zeigte als bei den älteren (13 von 15 jüngeren und elf von 15 älteren). Gefragt, in welchem Verhältnis dazu die Erinnerung an die Baselineitems stünde, erwiderte die Gesamtgruppe im Durchschnitt, sich an diese Wörter ebenso gut erinnern zu können wie an die Suppressionswörter (0 = schlechter erinnert als Suppressionsitems, 4 = besser erinnert als Suppressionsitems;  $M_{\text{insg}} = 2,00$ ,  $SD_{\text{insg}} = 0,98$ ). Die jüngeren Probanden gaben an sich eher besser an die Baselinewörter erinnern zu können, während die älteren die Suppressionsitems vermeintlich besser im Gedächtnis behalten hatten:  $M_{\text{jung}} = 2,20$ ,  $SD_{\text{jung}} = 0,94$ ;  $M_{\text{alt}} = 1,80$ ,  $SD_{\text{alt}} = 1,01$ .

Die letzten beiden Fragen des Interviews bezogen sich auf generelle persönliche Einstellungen zum Thema Suppression: So erklärte der Großteil der Teilnehmer, sie seien nicht der Meinung, dass das Unterdrücken von Gedächtnisinhalten tatsächlich zum Vergessen derselben führe (23 von 30 Probanden), wobei die jüngeren stärker diese These vertraten als die älteren (13 von 15 jüngeren und zehn von 15 älteren). Jedoch schienen die Untersuchten ebenso wenig einheitlich vom Gegenteil überzeugt zu sein. Auf die Frage, ob sie der Meinung seien, dass das Unterdrücken von Gedächtnisinhalten eher den umgekehrten Effekt hätte, dass man also diese Inhalte besser in Erinnerung behalte, antworteten 17 der 30 Personen mit „nein“. Während die älteren Probanden eher dieses Antwortverhalten an den Tag legten, zeigte sich die Gruppe der jüngeren eher unentschlossen: Von den älteren antworteten neun von 15 mit „nein“, bei den jüngeren verneinten acht der 15 Probanden diese Frage.

Tabelle 11: Gruppenunterschiede im KSSE

Fragennummer	jung		alt		t	p
	M	SD	M	SD		
2	1,67	0,82	2,07	0,88	-1,29	0,208
3	2,20	0,78	1,87	1,13	0,95	0,353
4	3,00	0,85	2,60	1,06	1,15	0,262
5	0,87	0,35	0,73	0,46	0,90	0,379
6	2,20	0,94	1,80	1,04	1,12	0,272
7	0,87	0,35	0,67	0,49	1,29	0,209
8	0,53	0,52	0,60	0,51	-0,36	0,724

## 2.3 Ergebnisse der fMRT-Untersuchung

In Anlehnung an Anderson et al. (2004a) wird hinsichtlich der fMRT-Daten stets auf den Kontrast zwischen der Response- und der Suppressionsbedingung Bezug genommen. Die Aktivierungen der beiden Gruppen (*Fixed Effects Analyse*) werden auf explorativ-deskriptiver Ebene verglichen, da eine Gruppenanalyse (*Random Effects Analyse*) für Response- und Suppressionsbedingung einzeln keine aktiven Areale ergab, sondern mit diesem Verfahren lediglich ein stärkeres BOLD-Signal bei den jüngeren abgebildet wurde (siehe Abschnitt zum BOLD-Signal in der Diskussion).

Das Signifikanzniveau wurde bei allen berechneten Kontrasten gleich gehalten:  $p < 0,004$ . Die Abbildungen stellen lediglich eine Auswahl der aktivierten Regionen dar. Hierbei wurden nur die von Anderson et al. (2004a) als suppressionsrelevanten Areale berücksichtigt. Die Gehirnabbildungen sind spiegelverkehrt dargestellt, analog dazu wie sie im Auswertungsprogramm BrainVoyager QX (Goebel, 2006) abgebildet werden.

### 2.3.1 fMRT-Ergebnisse der jüngeren Probanden

Die jüngeren Probanden aktivierten im Kontrast Suppression vs. Response für die Bedingung Suppression großflächig ein umfassendes frontales Netzwerk mit rechtshemisphärischem Schwerpunkt, wie in Abbildung 14 zu sehen ist, einschließlich der Brodmann Areale 6, 8, 10, 44, 45 und 46. Zusätzlich fanden sich gesteigerte Aktivierungen in occipitalen Arealen, einschließlich des Gyrus fusiformis und des Cuneus (BA 17, 18, und 19). Auch Teile des rechten Lobulus parietalis inferior waren in den Suppressionsvorgang involviert (BA 40),

sowie rechtslateral der Gyrus praecentralis (BA 4) und Teile des Temporallappens (BA 22, 36 und 38 auch rechtsseitig).

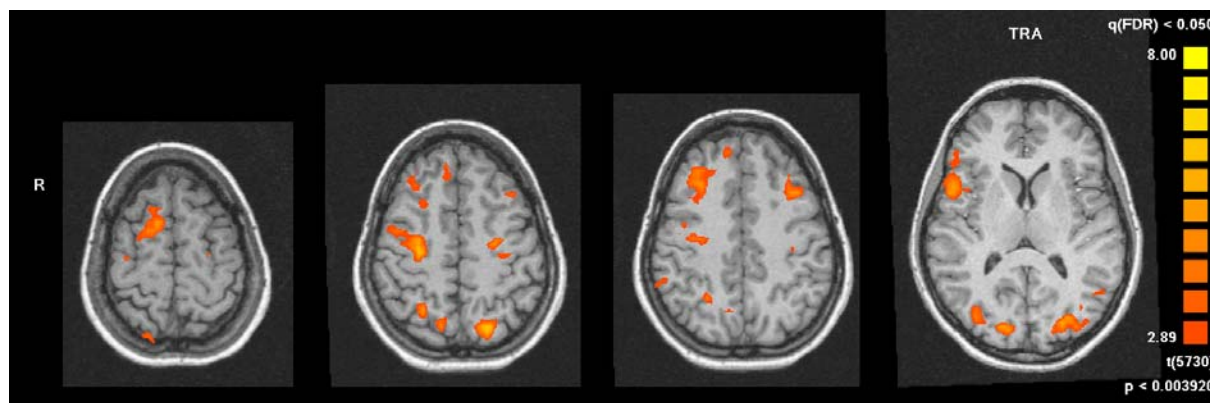


Abb. 14: Frontale Aktivierungen der jüngeren Probanden für Suppression > Response:  $p < 0,004$ ; R = rechts, TRA = transversaler Schnitt

Für den Kontrast Response vs. Suppression, dessen Resultat in Abbildung 15 dargestellt ist, fanden sich hingegen bilaterale Aktivierungen im Gyrus temporalis medius inklusive Gyrus parahippocampalis (BA 28, 30 und 37).

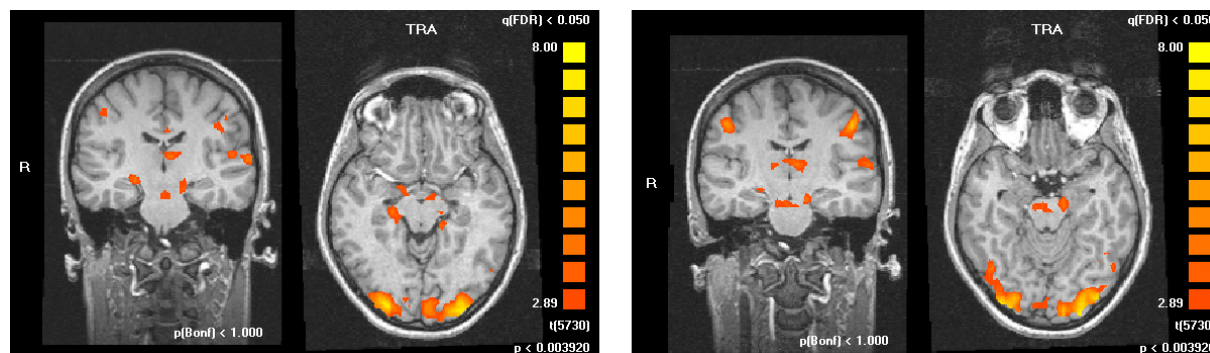


Abb. 15: Temporale Aktivierungen der jüngeren Probanden für Response > Suppression:  $p < 0,004$ ; R = rechts, TRA = transversaler Schnitt

Darüber hinaus aktivierten die jüngeren Teilnehmer beim Erinnern linkshemisphärisch den Precuneus (BA 31), sowie Teile des Cingulums (anterior und posterior: BA 23, 25 und 29) und des Gyrus cinguli (BA 41). Darüber hinaus fand sich auch in dieser Bedingung gesteigerte Hirnaktivität in occipitalen (BA 18 und 19), vereinzelt in frontalen Regionen (BA 6 und 46) und im Gyrus praecentralis (BA 4) und postcentralis (BA 3). Eine komplette Übersicht dieser Aktivierungsmuster inklusive der genauen Clustergrößen und der Angabe der Koordinaten im Talairachraum (Tal.-Koordinaten) bieten die Tabellen 12 und 13.

Anhand dieser Ergebnisse lässt sich feststellen, dass das Supprimieren in dieser Gruppe stärker mit frontalen Aktivierungen assoziiert war, während beim Erinnern hauptsächlich dem Temporallappen eine tragende Rolle zukam. In beide Bedingungen waren occipitale Regionen involviert, einschließlich des Gyrus lingualis, des Gyrus fusiformis und des Gyrus occipitalis inferior. Letzteres ist nicht verwunderlich, da in beiden Bedingungen zunächst das präsentierte Hinweiswort gelesen werden muss, wobei visuelle Prozesse ablaufen, die mit den zuletzt erwähnten Hirnregionen funktional assoziiert sind (zum visuellen System siehe Gertz, 2003).

Tabelle 12: Signifikante Aktivierungen der jüngeren Gruppe in der Suppressionsbedingung im Vergleich zur Responsebedingung

Region	BA	Tal.-Koordinaten			Z	r/l	Voxel
		x	y	z			
Lobulus parietalis inferior	40	51	-49	25	5,79	r	5808
Gyrus fusiformis, Cuneus	19/18	-24	-67	-14	7,60	l	4485
Cuneus	17	-24	-76	13	6,64	l	3963
Gyrus frontalis medius	8	30	26	40	5,47	r	3327
Gyrus frontalis inferior	44	48	11	10	5,65	r	3010
Cuneus	17	12	-82	13	5,94	r	2920
Gyrus praecentralis	4	27	-16	46	6,48	r	2492
Gyrus frontalis medius	6	12	11	58	5,49	r	1700
Gyrus fusiformis, Cuneus	19/18	21	-67	-14	7,90	r	1275
Gyrus frontalis inferior	46/45	48	26	7	4,01	r	1166
Gyrus frontalis medius	8	-33	20	40	5,56	l	832
Gyrus parahippocampalis	36	18	-43	-11	5,11	r	740
Lobulus parietalis inferior	40	-57	-34	28	4,87	l	698
Gyrus frontalis medius	6	-24	-7	46	5,10	l	616
Gyrus temporalis superior	22	48	-22	-9	4,00	r	147
Gyrus frontalis medius	10	-27	50	7	4,48	l	141
Gyrus temporalis superior	38	33	8	-29	3,52	r	114

Anmerkungen: Kontrast: +suppression -response, cluster threshold = 100 voxels,  $q(\text{FDR}) < 0,05$ ,  $p < 0,004$ ,  $t(5730)$ , r = rechtshemisphärisch, l = linkshemisphärisch, der Z-Wert bezieht sich auf dasjenige Voxel im Cluster mit dem höchsten Signifikanzwert.

Tabelle 13: Signifikante Aktivierungen der jüngeren Gruppe in der Responsebedingung im Vergleich zur Suppressionsbedingung

Region	BA	Tal.-Koordinaten			Z	r/l	Voxel
		x	y	z			
Gyrus fusiformis, Gyrus occipitalis inferior	18	-21	-91	-11	9,38	l	9050
Gyrus fusiformis, Gyrus occipitalis inferior	18/19	33	-85	-14	8,29	r	7022
Gyrus frontalis medius	46	-45	26	22	5,55	l	2811
Cingulum posterior	23	0	-31	22	5,96	r/l	1901
Gyrus praecentralis	4	-45	-13	37	7,47	l	1335
Cingulum anterior, Gyrus cinguli, Gyrus temporalis superior	25/23/41	-3	-10	10	4,47	l	1235
Gyrus fusiformis	37	-42	-49	-20	5,35	l	887
Gyrus frontalis superior	6	-6	11	49	5,74	l	878
Gyrus lingualis	18	9	-76	-26	5,14	r	821
Gyrus praecentralis	4	45	-13	37	6,63	r	780
Precuneus	31	-6	-67	28	4,58	l	754
Gyrus parahippocampalis	30	0	-37	4	5,13	r/l	586
Gyrus parahippocampalis	28	21	-19	-8	4,39	r	469
Gyrus parahippocampalis	37	-12	-13	-17	4,37	l	449
Gyrus parahippocampalis	37	9	-16	-17	3,91	r	445
Gyrus frontalis medius	6	-3	-4	55	4,11	l	397
Cingulum anterior	25	-9	5	1	4,60	l	244
Gyrus parahippocampalis	37	15	-1	-8	3,92	r	177
Cingulum posterior	29	0	-55	13	3,89	r/l	168
Gyrus postcentralis	3	39	-22	55	4,04	r	116

Anmerkungen: Kontrast: -suppression +response, cluster threshold 100 = voxels,  $q(\text{FDR}) < 0,05$ ,  $p < 0,004$ ,  $t(5730)$ , r = rechtshemisphärisch, l = linkshemisphärisch, der Z-Wert bezieht sich auf dasjenige Voxel im Cluster mit dem höchsten Signifikanzwert.

### 2.3.2 fMRT-Ergebnisse der älteren Probanden

Die älteren Teilnehmer aktivierten im Kontrast Suppression vs. Response für die Bedingung Suppression ein großflächiges umfassendes temporales Netzwerk. Hierbei waren bilateral die Gyri temporales superior (BA 22, 37, 38 und 39) und linksseitig der Gyrus temporalis medius (BA 21) sowie die rechte Amygdala involviert. Zusätzlich fand sich eine bilaterale Insulaaktivierung (BA 13), des Weiteren ebenfalls beidhemisphärisch eine erhöhte Aktivierung in den Lobuli parietales inferior (BA 40), den Precunei (BA 7), sowie links im Gyrus praecentralis (BA 6 und 43) und Gyrus cinguli (BA 31 und 24) und rechts im Cingulum posterior (BA 31). Auch bei den älteren Teilnehmern ließ sich in der

Suppressionsbedingung ein bilaterales frontales Netzwerk erkennen, einschließlich der Brodmann Areale 6, 8, 9, 10 und 47, das in Abbildung 16 dargestellt ist.

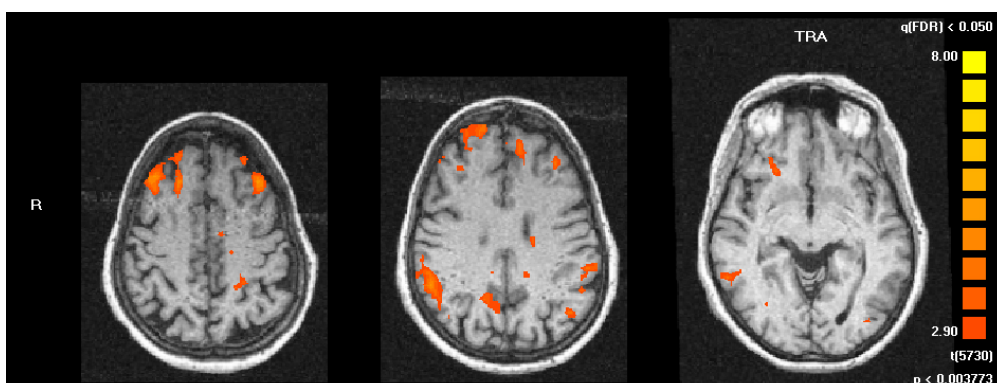


Abb. 16: Frontale Aktivierungen der älteren Probanden für Suppression > Response:  $p < 0,004$ ; R = rechts, TRA = transversaler Schnitt

Auch zeigten die älteren Probanden ebenfalls occipitale Aktivitätssteigerungen bilateral in den Gyri fusiformes (BA 19 und 20).

Im Kontrast Response vs. Suppression fand sich für die Bedingung Response in der Gruppe der älteren Teilnehmer ferner ein frontales eher linkshemisphärisch zentriertes (BA 6, 9, 10, 32 und 45) und bilaterales temporales (BA 20, 38 und 39), den rechten Hippocampus einschließendes, Netzwerk an Aktivierungen. Abbildung 17 gibt einen Überblick über die erwähnten temporalen Aktivierungen.

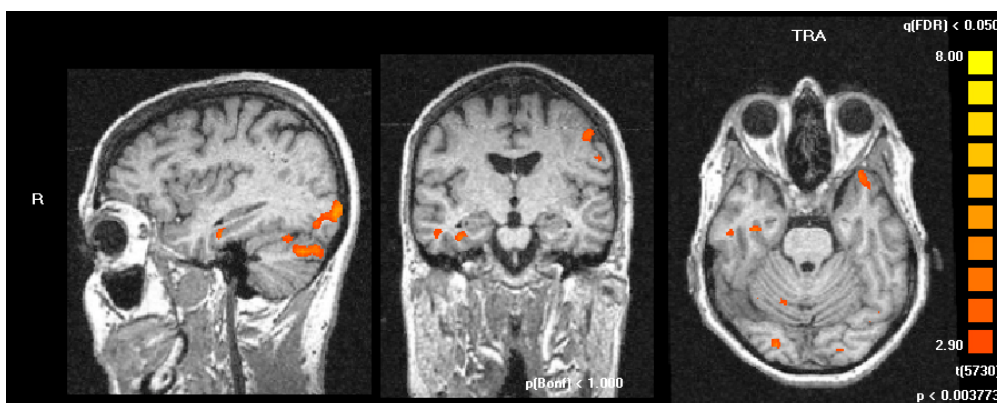


Abb. 17: Temporale Aktivierungen der älteren Probanden bei Response > Suppression:  $p < 0,004$ ; R = rechts, TRA = transversaler Schnitt

Zusätzlich waren hinsichtlich dieser Bedingung die linke Insula (BA 13), der Precuneus linksseitig (BA 7, 19 und 31), linkes Cingulum anterior und Cingulum posterior beidseitig (BA 25 und 29) sowie der Gyrus cinguli (BA 23) und der Gyrus postcentralis (BA 3) jeweils linkshemisphärisch stärker aktiviert als in der Suppressionsbedingung. Darüber hinaus zeigten

sich auch hier die bilateralen occipitalen Aktivierungen, die mit dem Lesevorgang assoziiert sind, im Gyrus occipitalis inferior (BA 18), Gyrus fusiformis (BA 20 und 37) und im Gyrus lingualis (BA 18).

Auch wenn sich in dieser Probandengruppe ähnliche Areale wie in der Gruppe der jüngeren Teilnehmer für die jeweilige Bedingung ausmachen lassen, so ist in dieser Gruppe doch die Aktivierung nicht mehr so aufgabenspezifisch (Supprimieren als exekutiver Kontrollprozess ist eher mit frontaler Aktivität assoziiert, episodischer Abruf eher mit temporaler) auf die Regionen verteilt wie in der Kontrollgruppe. Die frontalen Netzwerke sind in beiden Kontrastierungen quantitativ in etwa gleich stark involviert und unterscheiden sich qualitativ nur geringfügig, während sich bei den jüngeren deutlich sowohl quantitative als auch qualitative Differenzen zwischen dem frontalen Aktivierungsmuster hinsichtlich der Suppressions- verglichen mit dem der Responsebedingung zeigen. Die genauen Angaben sind den folgenden Tabellen 14 und 15 zu entnehmen.

Tabelle 14: Signifikante Aktivierungen der älteren Gruppe in der Suppressionsbedingung im Vergleich zur Responsebedingung

Region	BA	Tal.-Koordinaten			Z	r/l	Voxel
		x	y	z			
Gyrus temporalis superior, Lobulus parietalis inferior, Gyrus temporalis medius	13/40/37	54	-46	22	7,48	r	12533
Gyrus frontalis medius	8	36	23	46	5,83	r	5408
Gyrus temporalis superior	39/22	-54	-58	22	5,48	l	4895
Gyrus frontalis medius	8	-33	29	43	5,31	l	1950
Gyrus frontalis superior	10/9	24	41	24	5,16	r	1932
Precuneus, Cingulum posterior	7/31	9	-61	43	4,83	r	1785
Insula	13	33	2	10	4,89	r	1592
Gyrus frontalis superior	6	-12	26	61	4,72	l	1418
Gyrus frontalis superior	9	-9	50	31	4,42	l	1184
Gyrus praecentralis	6/43	-51	-7	10	5,51	l	711
Gyrus fusiformis	20	42	-37	-17	4,37	r	697
Gyrus fusiformis	19	-18	-73	-20	4,78	l	645
Insula, Lobulus parietalis inferior	13/40	-48	-31	22	4,79	l	641
Gyrus temporalis superior	38	42	8	-29	4,87	r	396
Gyrus temporalis superior	38	-36	14	-29	4,74	l	315
Gyrus frontalis medius	6	-9	-16	55	4,01	l	310
Gyrus frontalis inferior	47	24	23	-5	4,26	r	308
Precuneus	7	-18	-43	46	4,06	l	240

Fortsetzung siehe nächste Seite



Tabelle 14: Fortsetzung

Region	BA	Tal.-Koordinaten			Z	r/l	Voxel
		x	y	z			
Amygdala		27	-4	-11	4,00	r	207
Gyrus temporalis medius	21	-51	8	-23	4,71	l	177
Gyrus frontalis superior	6	12	-4	71	3,95	r	176
Gyrus cinguli	31	-12	-19	37	4,72	l	172
Gyrus cinguli	24	-3	2	28	3,91	r	117

Anmerkungen: Kontrast: +suppression –response, cluster threshold = 100 voxels,  $q(\text{FDR}) < 0,05$ ,  $p < 0,004$ ,  $t(5730)$ , r = rechtshemisphärisch, l = linkshemisphärisch, der Z-Wert bezieht sich auf dasjenige Voxel im Cluster mit dem höchsten Signifikanzwert.

Tabelle 15: Signifikante Aktivierungen der älteren Gruppe in der Responsebedingung im Vergleich zur Suppressionsbedingung

Region	BA	Tal.-Koordinaten			Z	r/l	Voxel
		x	y	z			
Gyrus frontalis inferior, Insula	9/13	-36	8	28	5,88	l	7400
Gyrus occipitalis inferior	18	27	-91	-14	9,55	r	2930
Gyrus lingualis, Gyrus temporalis superior	18/39	15	-83	-29	6,01	r	2836
Gyrus occipitalis inferior	18	-30	-91	-8	5,90	l	1934
Precuneus	7/19/31	-24	-67	28	6,29	l	1823
Gyrus frontalis inferior	45	-30	26	7	6,26	l	1247
Gyrus frontalis superior	6	-6	11	49	4,61	l	965
Gyrus fusiformis	37/20	-45	-37	-14	5,60	l	799
Cingulum anterior	25	12	5	4	5,73	r	534
Gyrus lingualis	19	-21	-64	1	4,43	l	434
Cingulum posterior	23	0	-31	25	4,41	r/l	389
Gyrus fusiformis	37	-45	-64	-29	4,29	l	380
Gyrus frontalis medius	10	-33	44	19	4,14	l	299
Gyrus frontalis medius	10	-24	50	16	4,37	l	268
Gyrus frontalis medius	32	9	14	46	3,87	r	214
Cingulum posterior	29	-3	-37	7	4,91	l	213
Gyrus postcentralis	3	-54	-13	25	4,04	l	203
Gyrus frontalis medius, Gyrus frontalis superior	10	-21	62	10	3,27	l	171
Gyrus temporalis inferior	20	51	-14	-23	3,44	r	168
Gyrus temporalis superior	38	-33	23	-23	4,25	l	162
Cingulum anterior, Gyrus cinguli	25/23	-3	-13	10	3,68	l	104
Uncus, Hippocampus	20	36	-11	-23	4,42	r	103

Anmerkungen: Kontrast: -suppression +response, cluster threshold = 100 voxels,  $q(\text{FDR}) < 0,05$ ,  $p < 0,004$ ,  $t(5730)$ , r = rechtshemisphärisch, l = linkshemisphärisch, der Z-Wert bezieht sich auf dasjenige Voxel im Cluster mit dem höchsten Signifikanzwert.

Da gemäß der eingangs formulierten Hypothesen und der Kompensationstheorie von Cabeza et al. (1997) erwartet wird, dass diejenigen älteren Probanden, die eine den jüngeren ähnliche kognitive Leistung erbringen, eine vermehrt bilaterale präfrontale Aktivierung zeigen, wird auch hier die Gruppe der älteren Probanden analog zur Vorgehensweise bei den Verhaltensdaten in zwei Subgruppen unterteilt: in Probanden mit höherem ( $n = 10$ ) und niedrigerem ( $n = 5$ ) kognitiven Funktionsniveau. Im Folgenden werden gruppenweise die Ergebnisse aus der fMRT-Untersuchung dargestellt.

### 2.3.3 fMRT-Ergebnisse der älteren Probanden mit höherem kognitiven Funktionsniveau

Die älteren Teilnehmer mit eher höherem kognitiven Funktionsniveau (gemessen an der Anzahl der Lerndurchgänge des *think/no-think* Paradigmas) aktivierten im Kontrast Suppression vs. Response für die Bedingung Suppression ein großflächigeres frontales Netzwerk als die Gesamtgruppe: BA 6, 8, 9, 10 und 46 (hauptsächlich rechts lateralisiert, wie in der jungen Kontrollgruppe) wie in Abbildung 18 dargestellt.

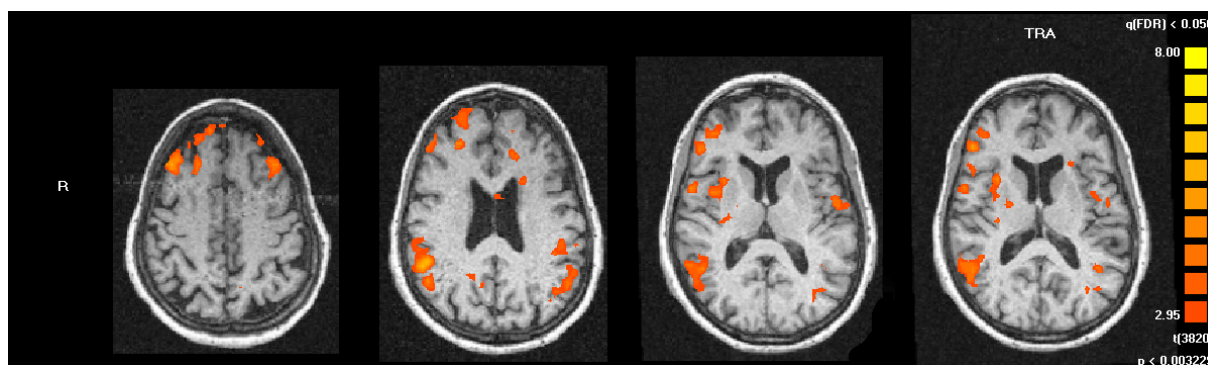


Abb. 18: Frontale Aktivierungen der älteren Probanden mit eher hohem kognitiven Funktionsniveau für Suppression > Response:  $p < 0,004$ ; R = rechts, TRA = transversaler Schnitt

Auch hier fand sich eine bilaterale Aktivierung der Insulae (BA 13); die temporale (BA 21, 22, 35, 36 und 38) gesteigerte Aktivität umfasste unter anderem Amygdala (rechts) und Hippocampus (links, auch Gyrus parahippocampalis). Darüber hinaus waren beidseitig der Lobulus parietalis inferior und der Gyrus supramarginalis (beides BA 40), Cingulum anterior links (BA 32) sowie subgyrale Regionen rechts (BA 6) an der Suppressionsleistung beteiligt. Wiederum fanden sich Aktivierungen im Gyrus fusiformis (BA 19, 20 und 37) und Gyrus occipitalis inferior (BA 19).

In der Responsebedingung fand sich hinsichtlich des oben genannten Kontrastes ebenfalls ein umfassendes frontales jedoch ausschließlich linkshemisphärisches Netzwerk mit

Aktivierungen in folgenden Brodmann Arealen: 6, 10, 45, 46 und 47. Zusätzlich zeigte sich erhöhte Aktivität bilateral im Cingulum anterior (BA 25 und 32) und mittig-rechts im Cingulum posterior (BA 23 und 29), sowie im linken Precuneus (BA 7 und 31) und im linken Gyrus post- (BA 3 und 43) und praecentralis (BA 4). Gleichzeitig wandten die älteren Probanden beim Erinnern auch gesteigerte temporale Aktivierung in beiden Hemisphären auf (siehe Abbildung 19), so waren neben dem Hippocampus der Uncus (BA 20), der Cuneus (BA 30) und der mittlere und superiore Temporallappen (BA 21 und 38) involviert.

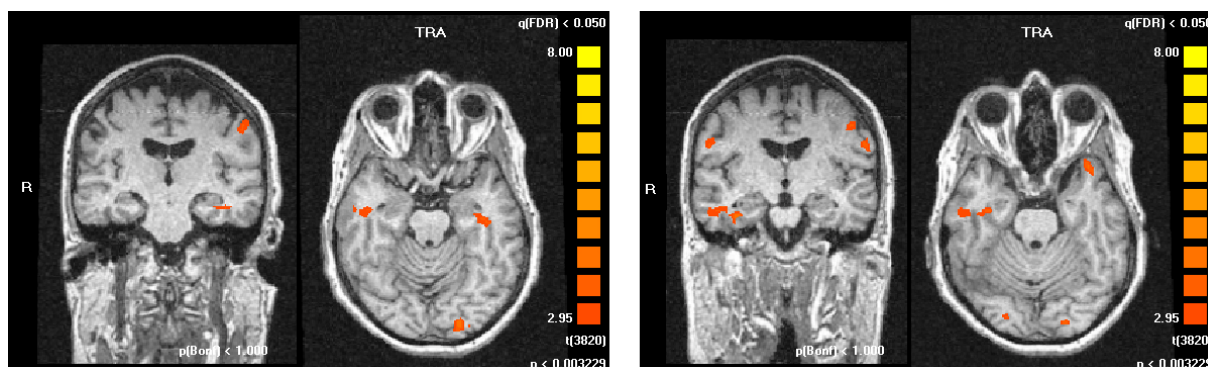


Abb. 19: Temporale Aktivierungen der älteren Probanden mit eher hohem kognitiven Funktionsniveau für Response > Suppression:  $p < 0,004$ ; R = rechts, TRA = transversaler Schnitt

Auch in der Responsebedingung war ein occipitales Netzwerk aktiv, einschließlich des Gyrus lingualis (BA 18), des Gyrus fusiformis (BA 18, 19 und 37) und des Gyrus occipitalis inferior (BA 17 und 18).

Insgesamt zeigte sich in dieser Subgruppe der älteren Probanden eine in beiden Bedingungen verstärkte frontale Aktivierung, die bei älteren gesunden Menschen mit sehr hohem Ausgangsniveau oft vorkommt und in der Literatur als „Hyperfrontalität“ bezeichnet wird (Tisserand & Jolles, 2003). Ferner fand sich auch hier die occipitale mit dem Lesen assoziierte Aktivierung, sowie eine verstärkte Aktivität in temporalen Regionen in der Erinnerungsbedingung. Genaue Clustergrößen (Voxelanzahl) und Signifikanzen befinden sich in den nachfolgenden Tabellen 16 und 17.

Tabelle 16: Signifikante Aktivierungen der älteren Probanden mit höherem kognitiven Funktionsniveau in der Suppressionsbedingung im Vergleich zur Responsebedingung

Region	BA	Tal.-Koordinaten			Z	r/l	Voxel
		x	y	z			
Lobulus parietalis inferior, Gyrus fusiformis	40/20	54	-46	24	6,85	r	9795
Gyrus frontalis medius, Gyrus frontalis superior	8	39	29	43	5,85	r	5088
Gyrus occipitalis inferior, Gyrus temporalis superior	19/22	-36	-76	1	6,10	l	3244
Gyrus temporalis superior, Gyrus supramarginalis	39/40	-51	-58	22	5,49	l	1811
Gyrus parahippocampalis	36/35	30	-34	-41	5,82	r	1671
Insula	13	39	2	7	5,12	r	1474
Gyrus frontalis medius	8/6	-33	29	43	4,77	l	1266
Gyrus temporalis superior, Insula	22/13	-54	-7	7	5,21	l	1184
Gyrus frontalis superior	10/9	24	59	25	4,18	r	1133
Gyrus frontalis superior	6	12	-10	71	4,90	r	911
Gyrus frontalis medius	10	36	44	10	4,41	r	858
Cingulum anterior, Gyrus frontalis superior	32/9	-12	35	22	4,58	l	795
Gyrus frontalis inferior	46	48	32	13	5,59	r	780
Gyrus temporalis superior	22	54	5	10	5,38	r	751
Gyrus fusiformis	37	-36	-55	-20	4,87	l	550
Gyrus fusiformis	19	30	-67	-11	5,99	r	534
Insula	13	-24	20	19	5,03	l	483
Gyrus frontalis superior	8	-15	41	52	4,17	l	323
Subgyral im Lobus frontalis	6	21	5	58	5,02	r	292
Amygdala		24	-1	-5	4,46	r	286
Gyrus temporalis superior	38	-36	14	-29	5,24	l	270
Gyrus temporalis superior	38	45	27	-20	4,10	r	241
Gyrus temporalis superior	21	63	-13	-2	4,31	r	126
Hippocampus		-33	-43	4	3,59	l	126
Gyrus fusiformis	19	-18	-70	-23	4,41	l	118
Gyrus temporalis medius	21	-54	-4	-8	4,04	l	110

Anmerkungen: Kontrast: -suppression +response, cluster threshold = 100 voxels,  $q(\text{FDR}) < 0,05$ ,  $p < 0,004$ ,  $t(3820)$ , r = rechtshemisphärisch, l = linkshemisphärisch, der Z-Wert bezieht sich auf dasjenige Voxel im Cluster mit dem höchsten Signifikanzwert.

Tabelle 17: Signifikante Aktivierungen der älteren Probanden mit höherem kognitiven Funktionsniveau in der Responsebedingung im Vergleich zur Suppressionsbedingung

Region	BA	Tal.-Koordinaten			Z	r/l	Voxel
		x	y	z			
Gyrus praecentralis, Gyrus frontalis medius	6/4/46	51	-4	22	5,26	r	3540
Gyrus lingualis, Gyrus fusiformis	18/37	15	-83	-29	5,91	r	1913
Gyrus occipitalis inferior	17/18	-21	-97	-8	6,32	l	1144
Precuneus	7/31	-24	-67	28	5,18	l	926
Gyrus occipitalis inferior, Gyrus fusiformis	18	27	-91	-14	6,44	r	896
Gyrus frontalis medius, Gyrus frontalis inferior	47	-30	35	-5	4,08	l	646
Gyrus postcentralis, Gyrus praecentralis	3/4	-50	-19	40	4,31	l	568
Gyrus fusiformis	37	-45	-37	-14	5,52	l	541
Gyrus temporalis medius	21	39	-4	-32	4,62	r	506
Gyrus frontalis inferior	45	-33	29	7	4,77	l	494
Gyrus fusiformis	37	30	-55	-29	5,08	r	444
Subgyral im Lobus frontalis	20	48	-13	-20	3,83	r	421
Gyrus lingualis	19	-18	-58	1	4,56	l	392
Gyrus frontalis medius	10	-24	50	16	4,65	l	374
Cingulum anterior	25	12	8	7	5,55	r	354
Gyrus frontalis superior	6	-3	5	52	3,81	l	336
Cingulum anterior	32	-3	44	-4	4,35	l	301
Gyrus fusiformis	19	-36	-79	-32	4,61	l	300
Cuneus	30	-12	-61	10	4,07	l	287
Gyrus temporalis superior	38	-36	20	-20	4,64	l	259
Cingulum posterior	23	0	-31	25	3,99	r/l	246
Cingulum posterior	29	3	-37	7	4,55	r	241
Gyrus postcentralis	43	54	-10	25	3,94	r	211
Uncus	20	33	-10	-24	4,36	r	188
Gyrus temporalis medius	21	-39	-4	-33	3,86	l	182
Hippocampus		-36	-16	-18	3,68	l	150

Anmerkungen: Kontrast: -suppression +response, cluster threshold = 100 voxels,  $q(\text{FDR}) < 0,05$ ,  $p < 0,004$ ,  $t(3820)$ , r = rechtshemisphärisch, l = linkshemisphärisch, der Z-Wert bezieht sich auf dasjenige Voxel im Cluster mit dem höchsten Signifikanzwert.

### **2.3.4 fMRT-Ergebnisse der älteren Probanden mit niedrigerem kognitiven Funktionsniveau**

Bei dieser Untergruppe der älteren Teilnehmer zeigte sich im Kontrast Suppression vs. Response in keiner der beiden Bedingungen frontale Aktivität. Generell fand sich in dieser Gruppe nur sehr wenig zerebrale Performanz, so dass möglicherweise davon auszugehen ist, dass die Aufgabe für die Teilnehmer mit dem eher niedrigen kognitiven Funktionsniveau zu schnell ablief, so dass sich im betrachteten Zeitfenster keine Aktivierungsmuster zeigen können. Zumindest im Rahmen der *MCI*-Forschung (*MCI* = *mild cognitive impairment*, leichte kognitive Beeinträchtigung) gibt es Befunde dazu, dass die BOLD-Antwort bei älteren Personen mit leichten kognitiven Beeinträchtigungen verlangsamt ist (Rombouts et al., 2005). Möglicherweise tritt diese Verlangsamung auch bereits im gesunden Altersprozess bei einem niedrigen kognitiven Ausgangsniveau auf.

Eine weitere Erklärung wäre, dass diese Untergruppe insgesamt ein schwächeres BOLD-Signal aufweist (siehe Diskussion) und somit nur bei einem niedrigeren Signifikanzniveau Aktivierungen festzustellen wären. Da diese Problematik aufgrund mangelnder anderer bildgebender Untersuchungen ungeklärt bleiben muss, wird diese Subgruppe von der weiteren Analyse weitgehend ausgenommen.

## IV. Diskussion

In der vorliegenden Arbeit wurden jüngere und ältere gesunde Probanden mit einem Paradigma zur kognitiven Kontrolle, welches von Anderson und Green (2001) adaptiert wurde, untersucht. Zusätzlich wurden neuropsychologische Leistungen, welche die Exekutivfunktionen, das Arbeitsgedächtnis, Lernen und Gedächtnis allgemein, die allgemeine kognitive Verarbeitungsgeschwindigkeit sowie Aufmerksamkeit und Konzentration betreffen, erfasst.

Ziel der Studie war es einerseits, die Ergebnisse hinsichtlich der Verhaltensdaten von Anderson und Green (2001) und die Resultate bezüglich der neuronalen Aktivierung bei der Aufgabe von Anderson et al. (2004a) in einer Gruppe von jungen Probanden zu replizieren. Andererseits sollte ein Vergleich der Verhaltensdaten sowie der neurofunktionellen Aktivierungsmuster zwischen einer jungen Stichprobe mit einer Gruppe von älteren Probanden gezogen werden. Bei der Gegenüberstellung der fMRT-Daten lag der Schwerpunkt auf den Gruppenunterschieden hinsichtlich der Beteiligung des präfrontalen Cortex bei der willentlichen kognitiven Inhibition im gesunden Altersprozess und der damit einhergehenden relativen Reduktion der Hippocampusaktivierung<sup>2</sup>.

Im Folgenden wird zunächst die Übereinstimmung der Ergebnisse mit den Hypothesen überprüft, des Weiteren werden die Daten unter Bezugnahme auf den aktuellen Forschungsstand differenziert betrachtet und diskutiert. Abschließend folgen die kritische Würdigung der Arbeit, eine zusammenfassende Bewertung und ein Ausblick auf mögliche Anschlussfragestellungen.

---

<sup>2</sup> Im Kontrast Response > Suppression fand sich eine signifikante Hippocampus-Aktivität. Das lässt zwei mögliche Aussagen zu: 1. Während des Abrufs der Responseitems war der Hippocampus stärker aktiv als während der Inhibierung der Suppressionsitems. 2. Der Hippocampus war während der Inhibitionsaufgabe vermindert aktiv im Vergleich zur Abrufbedingung. Anderson et al. (2004a) verwenden in ihrer Veröffentlichung die zweite Variante, weswegen sie auch hier in der Einleitung der Diskussion gebraucht wird. Ansonsten wird in der vorliegenden Arbeit weitgehend die erste Aussagemöglichkeit verwendet.

# 1. Hypothesengeleitete Diskussion der neuropsychologischen Daten

## 1.1 Verfahren zur Stichprobenbeschreibung

Der Großteil der eingesetzten neuropsychologischen Verfahren diente dazu, die Differenzen zwischen den Stichproben zu überprüfen bzw. das Vorliegen der Einschlusskriterien bei den älteren Probanden zu gewährleisten („normale“ Gedächtnisleistungen). Die beiden Gruppen unterschieden sich in diesen speziellen Verfahren ausschließlich hinsichtlich ihrer Leistungen im *Wortschatztest* von Schmidt und Metzler (1992) und im Subtest *Rechnerisches Denken* aus dem HAWIE-R (Tewes, 1991).

Der *Wortschatztest* stellt ein Verfahren zur Abschätzung des prämorbidem Intelligenzniveaus dar. Ausgehend von der Annahme, dass man im Laufe des Lebens den eigenen (vor allem den passiven) Wortschatz ständig vergrößert, erscheint es als logische Konsequenz, dass ältere Personen mit vergleichbarem Ausgangsniveau hier besser abschneiden als jüngere. Im *Wortschatztest* aus dem HAWIE-R (Tewes, 1991), bei dem die Wörter nicht nur erkannt, sondern auch erklärt werden müssen, schnitten beide Gruppen vergleichbar gut ab. Somit ist davon auszugehen, dass ein vergleichbares Intelligenzniveau bei beiden Gruppen vorausgesetzt werden kann. Die gleichzeitig bestehende Überlegenheit hinsichtlich des verbalen passiven Wissens bei älteren Personen konnte auch schon in anderen Untersuchungen gezeigt werden (Uttl & Van Alstine, 2003).

Die Fähigkeit zum Kopfrechnen, die mit dem Subtest *Rechnerisches Denken* gemessen wird, ist ein Leistungsbereich, der bei älteren Personen im Vergleich zu anderen exekutiven Leistungen als sehr gut erhalten betrachtet werden kann (Allen et al., 1997; Allen et al., 1992). Die geringeren Ergebnisse der jüngeren Probanden können darauf zurückzuführen sein, dass heutzutage im schulischen Bereich sehr früh die Verwendung eines Taschenrechners eingeführt wird und deswegen die Fähigkeit, Dreisätze im Kopf zu berechnen, deutlich weniger trainiert ist als bei den älteren. Kopfrechnen ist ein Teilleistungsbereich, der unter anderem ein intaktes Arbeitsgedächtnis erfordert. Das Arbeitsgedächtnis wurde zusätzlich mit den Subtests *Zahlenspanne* und *Blockspanne* aus der WMS-R (Härtling et al., 2000) überprüft. Hier fanden sich keine signifikanten



Gruppenunterschiede, so dass schließlich die beiden Probandengruppen auch hinsichtlich dieser Funktion als vergleichbar betrachtet werden können.

Zusammenfassend ergeben diese Ergebnisse, dass die gefundenen Unterschiede zwischen den Gruppen hinsichtlich der exekutiven Funktionen und der Gehirnaktivierungsmuster nicht auf zugrundeliegende generelle kognitive Verschiedenheiten oder Differenzen im Verhalten in der Testsituation zurückzuführen sind, sondern tatsächlich speziell mittels der besonderen Verfahren erfasste Unterschiede widerspiegeln.

## **1.2 Verfahren zur Erfassung der frontalassozierten Funktionen und geschwindigkeitsbezogene Aufgaben**

Die Testverfahren zur Erfassung der Exekutivfunktionen sind im Ergebnisteil neben den geschwindigkeitsbezogenen Aufgaben gesondert dargestellt. Deswegen werden die Ergebnisse hinsichtlich dieser beiden Bereiche auch in der Diskussion besonders erwähnt. In den meisten Testverfahren zeigte sich erwartungsgemäß eine signifikant niedrigere Leistung der älteren Teilnehmer im Vergleich mit den jüngeren. Eine Funktion, hinsichtlich derer kein Gruppenunterschied festgestellt werden konnte, war das Generieren von Wörtern, gemessen mit dem *Regensburger Wortflüssigkeitstest* (RWT) (Aschenbrenner et al., 2000). Im RWT waren die älteren Probanden bezüglich der Wortgenerierung auf der Basis des semantischen Wissens den jüngeren Teilnehmern nicht unterlegen. Levine et al. (2002) konnten in ihrer Studie zeigen, dass im gesunden Alterprozess semantisches Wissen im Gegensatz zu episodischen Gedächtnisinhalten erhalten bleibt. Somit wird das eigene Ergebnis in Hinsicht auf das Generieren von Wörtern aus dem semantischen Lexikon in diesem Rahmen erklärbar. Des Weiteren fand sich im Gruppenvergleich eine generell geminderte Bearbeitungsgeschwindigkeit hinsichtlich der Aufmerksamkeitsleistungen bei den älteren Teilnehmern. Dieses Ergebnis steht insofern in Einklang mit früheren Befunden, als bei älteren Personen über eine generelle Verlangsamung berichtet wurde (z.B. Bugg et al., 2006).

Außerdem ergab sich hinsichtlich der abstrakten Problemlösefähigkeit (*Mosaiktest* aus dem HAWIE-R), im logisch-kombinatorischen und intuitiven Denken (*Bilderordnen* aus dem HAWIE-R), der Konzeptbildungsfähigkeit (HCT), der kognitiven Flexibilität und Umschaltfähigkeit (TMT B) und in der motorischen Inhibition (*go/no-go* aus der TAP) sowie der Interferenzanfälligkeit (FWIT) eine Minderung der Leistungen der älteren Probanden im

Gruppenvergleich. Grundsätzlich fand sich in den Aufgaben, die unter zeitkritischen Bedingungen durchgeführt wurden, ein relatives Defizit bei den älteren (Subtests der TAP und TMT A). Diese Ergebnisse waren zu erwarten, da sie in Einklang mit der umfangreichen Literatur zu Einbußen in den Exekutivfunktionen (Raz et al., 1998; Verhaegen & Cerella, 2002; Craik & Bialystok, 2006; Stawski et al., 2006) und genereller Verlangsamung beim gesunden Altern stehen (z.B. Bugg et al., 2006). Gerade das Inhibitionsparadigma nach Stroop (1935) wird häufig verwendet, um altersbedingten exekutiven Abbau anhand erhöhter Interferenzanfälligkeit zu demonstrieren. Die eigenen Ergebnisse im FWIT, welche mit den Resultaten jüngster Studien übereinstimmen (Troyer et al., 2006; De Frias et al., 2006; Bugg et al., 2007), weisen ebenfalls auf einen Altersabbau dieser Funktion hin.

Hypothesenkonform zeigte sich im Großteil der eingesetzten Verfahren eine relative Beeinträchtigung hinsichtlich der Exekutivfunktionen und der Bearbeitungsgeschwindigkeit bei den älteren Probanden im Vergleich zu den jüngeren (Hypothesen 4a und 4c).

Das Arbeitsgedächtnis zeigte sich lediglich im gleichnamigen Subtest der TAP qualitativ und quantitativ bei den älteren beeinträchtigt, jedoch nicht in den WMS-R Subtests. Die Arbeitsgedächtnisleistungen bei den älteren Teilnehmern nahmen offensichtlich nur unter Zeitdruck ab, blieben jedoch intakt, wenn die Anforderungen niedriger waren. Auch dieser Befund findet seine Analogie in der bisherigen Altersforschung: Stawski et al. (2006) entdeckten generell in ihrer Stichprobe von älteren Personen erst bei Aufgaben mit hohen Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis Unterschiede zwischen älteren und jüngeren Probanden und nicht bei sehr einfachen Tests. Die erwarteten Beeinträchtigungen im Arbeitsgedächtnis wurden folglich nur teilweise gefunden (Hypothese 4b).

Im *Emotionalen Stroop Paradigma* nach Derryberry und Tucker (1994) fanden sich im Gegensatz zum FWIT keine altersbedingten Interferenzeffekte sondern lediglich Unterschiede hinsichtlich der Reaktionszeiten: Die jüngeren Probanden reagierten bezüglich der meisten Bedingungen deutlich schneller als die älteren Teilnehmer. Es zeigt sich also auch in diesem experimentellen Paradigma die erhöhte Bearbeitungszeit bei den älteren (Hypothese 4a).

## 2. Hypothesengeleitete Diskussion der Verhaltensdaten im *think/no-think* Paradigma

### 2.1 Gruppenvergleich der Verhaltensdaten

In den Ergebnissen aus den *think/no-think* Verhaltensdaten hinsichtlich der Lern- und Abrufleistungen findet Hypothese 3 ihre Bestätigung: Die älteren Probanden lernten die episodisch-assoziativen Wortpaare langsamer als die jüngeren, was zu erwarten war (vgl. beispielsweise Levine et al., 2002). Zusätzlich zu dieser Minderung hinsichtlich der Lernleistung zeigten sie eine Minderung in Bezug auf den Gedächtnisabruf der gelernten Informationen. Die älteren Teilnehmer vergaßen deutlich mehr der gelernten Inhalte als die jüngeren Probanden. Das zeigt sich für die reine Gedächtnisbedingung ohne Supprimieren oder Erinnern an den Werten der Baselineitems: Hier erreichten die jüngeren im Mittel einen Wert knapp über 100 %, das bedeutet, dass sie sich in etwa an so viel erinnerten wie sie gelernt hatten, während die älteren mit einem Wert von 78 % eine durchschnittliche Vergessensrate von 22 % aufwiesen.

Bezüglich des Verhältnisses der Abrufleistungen zwischen den drei Bedingungen ergaben sich in beiden Gruppen ähnliche Muster: Sowohl die jüngeren als auch die älteren Probanden konnten sich die Wörter der Responsebedingung am besten merken, dann folgten die Baselinewörter, während die Abrufleistung bezüglich der Suppressionswörter am niedrigsten ausfiel. Bei den älteren Teilnehmern zeigte sich jedoch nur eine sehr geringe Differenz zwischen Baseline- und Suppressionsitems, die bei den jüngeren Probanden deutlicher ausgeprägt war (Hypothese 2).

In beiden Gruppen fand sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Wörtern der Response- und der Suppressionsbedingung, der erwartete Suppressionseffekt, der sich in einem bedeutsamen Unterschied zwischen Suppressions- und Baselineitems zeigen sollte (Anderson & Green, 2001), blieb jedoch auch in der Gruppe der jüngeren Probanden aus: Es ergab sich zwar eine Minderung im Vergleich der Abrufleistungen bezüglich der Suppressionswörter, die numerisch deutlicher ausgeprägt war als bei den älteren, jedoch erreichte dieser Unterschied auch in der jüngeren Gruppe keine statistische Signifikanz (Hypothese 1). Die hohe Ausprägung der Standardabweichung hinsichtlich der Baselinebedingung im finalen Abruf könnte eine Erklärung dafür sein, warum der Unterschied

zwischen Suppression und Baseline bei den jüngeren Probanden nicht statistisch signifikant wurde. Aufgrund der hohen Streuung der Erinnerungsleistung (z.B. Vergessensraten über 40% selbst in dieser Subgruppe) war kein signifikanter Suppressionseffekt zu beobachten.

## 2.2 Verhaltensdaten der jüngeren Probanden

Aufgrund des fehlenden Suppressionseffektes sind die Verhaltensdaten der jüngeren Probanden in Einklang mit einer neueren Studie von Bulevich et al. (2006), die während der Datenerhebung der vorliegenden Arbeit erschien: In ihrer Untersuchung setzten die Autoren das *think/no-think* Paradigma sowie die Originallisten ein, die auch Anderson und Green (2001) verwendet hatten. Ihre Ergebnisse stimmen mit den Resultaten der vorliegenden Arbeit überein, jedoch nur teilweise mit denen der ursprünglichen Studie. Auch Bulevich et al. konnten in der direkten Replikation des Untersuchungsablaufs nach Anderson und Green einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Response- und den Suppressionswörtern zeigen. Zusätzlich fanden sie einen numerischen Unterschied zwischen Baseline- und Suppressionsbedingung im finalen Abruf (*same-probe*, wie auch in der vorliegenden Studie), der jedoch keine statistische Signifikanz aufwies. Der Suppressionseffekt, der sich nach Anderson und Green wie bereits erwähnt in einem signifikanten Unterschied zwischen Baseline- und Suppressionsbedingung im finalen Abruf zeigen sollte, war folglich nicht replizierbar.

Dennoch verdient der schon erwähnte signifikante Unterschied zwischen der Response- und der Suppressionsbedingung, der sich in den Verhaltensdaten beider in der vorliegenden Studie untersuchter Gruppen fand, ebenfalls Beachtung. Diesem Ergebnis zufolge wurden die Responseitems deutlich besser eingespeichert als die Suppressionsitems. Es kann somit zwar aus den Verhaltensdaten kein Suppressionseffekt im Sinne von Anderson und Green nachgewiesen werden, dennoch deutet diese bedeutsame Differenz zwischen zu erinnernden und zu inhibierenden Wörtern auf einen exekutiven Kontrollprozess während der *think/no-think* Aufgabe hin. Dieser Kontrollprozess zeigt sich darin, dass die Suppressionswörter in deutlich niedrigerem Umfang eingespeichert wurden als die Responseitems.

Auch in den fMRT-Ergebnissen spiegelt sich das mögliche Vorliegen eines exekutiven Kontrollprozesses wider, diese werden in Kapitel 3 in Hinblick auf die Hypothesen besprochen.

Während der *think/no-think* Aufgabe werden den Probanden sowohl die Schlüsselwörter der Response- als auch der Suppressionsitems wiederholt präsentiert, die Schlüsselwörter der Baselineitems werden hingegen bis zum finalen Abruf nicht mehr gezeigt. Vorausgesetzt, die Teilnehmer befolgten die Anweisung richtig, versuchten sie pro Responsewort 16mal, sich an das dazugehörige Wort zu erinnern. Gleichzeitig ist es vorstellbar, dass sie sich auch an das ein oder andere Suppressionswort erinnerten, bevor sie es gemäß der Anleitung zu unterdrücken versuchten. Diese Annahme eines so genannten *rebound*-Effektes wird von den Ergebnissen aus dem Fragebogen KSSE unterstützt. Hier gaben die Probanden an, dass sie gelegentlich an die zu unterdrückenden Wörter gedacht hatten. An die Wörter der Baselinebedingung hatten sie jedoch mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit nicht gedacht, da diese Wörter in der *think/no-think* Aufgabe nicht auf dem Bildschirm erschienen.

Somit ist einerseits leicht erklärbar, warum der Abruf der Responseitems besonders gut gelang, in beiden Gruppen war die Erinnerungsleistung diesbezüglich am besten. Andererseits erscheint es ebenfalls plausibel, warum sich kein deutlicher Unterschied zwischen den Suppressions- und Baselineitems zeigte: Während die Schlüsselwörter der Suppressionsbedingung den Probanden wiederholt präsentiert wurden, wodurch sich die Probanden wie sie selbst angaben doch gelegentlich zunächst an das dazugehörige Wort erinnerten, wurden die Schlüsselwörter der Baselineitems nicht mehr gezeigt. Dadurch bestand keine Möglichkeit, sich diese Wörter so wiederholt einzuprägen wie die Responsewörter und in geringerem Maße eben auch die Suppressionswörter.

### **2.3 Verhaltensdaten der älteren Probanden**

Die Fähigkeit, zwischen wiederholtem Erinnern und Unterdrücken der Erinnerung willentlich differenzieren zu können, schien bei den älteren Probanden ähnlich ausgeprägt wie bei den jüngeren zu sein. Dies zeigte sich am signifikanten Unterschied zwischen den Response- und Suppressionswörtern, der in den Verhaltensdaten beider Gruppen vergleichbar zu beobachten war. Auch wenn also die älteren Probanden eine sich über alle drei Bedingungen erstreckende niedrigere Erinnerungsleistung zeigten als die jüngeren Probanden, war es ihnen dennoch möglich, die gelernten Inhalte im Sinne einer Metagedächtnisleistung vergleichbar gut zu organisieren. Unter Metagedächtnisleistung wird hier die Organisation der einzuspeichernden Inhalte verstanden. In ihrer Studie konnten Loewen et al. (1990) zeigen, dass ältere Probanden zwar von vermindertem Gebrauch von Enkodierungsstrategien im Gegensatz zu jüngeren

berichten, jedoch verstärkt Strategien zur Organisation der Gedächtnisinhalte aufwenden. In den eigenen Daten findet sich eine Bestätigung dieser möglichen Vorgehensweise, da die älteren Probanden niedrigere Lernleistungen zeigten bei vergleichbarer Gedächtnisorganisation. Eine neuere Studie gibt Anlass zur Annahme, dass die Kontrolle über das Metagedächtnis im Alter abnimmt (Souhay & Isingrini, 2004), jedoch scheint diese spezielle Fähigkeit der Organisation von Gedächtnisinhalten bei der untersuchten älteren Stichprobe trotz generell niedriger ausgeprägter Exekutivleistungen erhalten zu sein.

In einer neueren Arbeit von Friedman et al. (2007) berichteten die Autoren von bedeutenden Unterschieden zwischen älteren und jüngeren Probanden im Enkodieren jedoch nicht im Abrufen von episodischer Information. Die eigenen Daten unterstützen die Ergebnisse dieser Arbeiten nur hinsichtlich der verminderten Lernleistung. Die älteren Probanden der vorliegenden Studie zeigten jedoch ebenfalls deutlich niedrigere Gedächtnisleistungen als die jüngeren Probanden. Allerdings ist zu beachten, dass der finale Abruf unter zeitkritischen Bedingungen durchgeführt wurde, weswegen die Resultate der beiden Arbeiten möglicherweise nicht direkt zu vergleichen sind. Hinsichtlich der verminderten Lernleistung werden die eigenen Ergebnisse von einer kürzlich publizierte Studie unterstützt, in der gezeigt werden konnte, dass ältere Personen Defizite im assoziativ-episodischen Lernen zeigen, besonders dann, wenn die zu enkodierenden Entitäten prä-experimentell nicht assoziiert sind (Naveh-Benjamin et al., 2003), wie es auch in der vorliegenden Arbeit der Fall ist.

Da das eingesetzte *think/no-think* Paradigma nicht ausschließlich Suppressions- und Abrufleistungen misst, sondern auch für Enkodierungs- (Responseitems) und Konsolidationsprozesse (Baselineitems) sensitiv ist, besteht die Möglichkeit, dass der rein numerisch noch geringer ausgeprägte Unterschied zwischen Baseline- und Suppressionsitems im finalen Abruf in der Gruppe der älteren Probanden (und noch stärker in der Gruppe mit dem niedrigen kognitiven Funktionsniveau) durch eine Interferenzanfälligkeit bedingt ist, die bei älteren im Vergleich zu jüngeren generell stärker ausgeprägt ist (Stawski et al., 2006) und sich negativ auf die Konsolidierung der Baselineitems auswirkt.

Während der *think/no-think* Aufgabe wurden die Probanden dazu aufgefordert, die Responsewörter wiederholt abzurufen, wobei jedes Mal auch die Enkodierung dieser Wörter verstärkt wurde. Beide Teilnehmergruppen profitierten von dieser Re-Enkodierung. Die Responseitems wurden signifikant besser abgerufen im Vergleich zu den Suppressionsitems,

ein Muster, das in beiden Gruppen gefunden werden konnte. Zusätzlich hätte während der *think/no-think* Aufgabe eine Konsolidierung der Baselinewörter stattfinden müssen, die sich auch in der Gedächtnisleistung der jüngeren Probanden im finalen Abruf zeigte, da sie von diesen Items im Mittel mehr abrufen konnten als sie gelernt hatten (104 %).

Nach Cronel-Ohayon et al. (2006) zeigen sich Defizite in der Konsolidierung von Erinnerungen in einer abnormalen Vergessensrate. Bei den älteren Probanden fand wahrscheinlich kein oder nur ein geringer Konsolidierungsprozess hinsichtlich der Baselinewörter statt. Die Konsolidierung würde sich darin zeigen, dass auch die älteren Probanden die Baselineitems besser abrufen als die Suppressionsitems. Dies würde sich in einem größeren Unterschied in der Gedächtnisleistung bezüglich dieser beiden Bedingungen zeigen, vorausgesetzt, dass die Erinnerung an die Suppressionsitems auch tatsächlich durch kognitive Inhibition herabgemindert worden wäre. Da sich diese Differenz in den Verhaltensdaten der älteren Teilnehmer als sehr gering erwiesen hat, können die Ergebnisse aus den Verhaltensdaten Rückschlüsse dahingehend zulassen, dass bei der älteren Stichprobe im Gegensatz zur jüngeren diese Konsolidierungsmechanismen beeinträchtigt sind. Zumindest könnte die Konsolidierung der Inhalte durch die gleichzeitige Bearbeitung der *think/no-think* Aufgabe interferierend beeinträchtigt sein. Eine erhöhte Interferenzanfälligkeit ist bei der untersuchten älteren Stichprobe im Vergleich zu der jüngeren vorhanden und zeigt sich hinsichtlich der Selektivität im FWIT, hier fand sich eine deutliche Differenz bezüglich der Interferenzanfälligkeit bei den älteren im Vergleich zu den jüngeren. Diese Erklärung unter Bezugnahme auf mangelnde Konsolidierung ist möglicherweise eine zusätzliche oder sogar alternative Begründung für die gezeigte niedrige Gedächtnisperformanz in Hinsicht auf die Baselinewörter, die sich in dieser Stichprobe von älteren Probanden beobachten lässt.

### **3. Hypothesengeleitete Diskussion der fMRT-Daten im *think/no-think* Paradigma**

Entsprechend der Fragestellung der vorliegenden Arbeit wird in diesem Abschnitt vor allem die Rolle derjenigen Gehirnstrukturen besprochen, die von den Autoren der Originalstudie (Anderson et al., 2004a), deren Paradigma (Anderson & Green, 2001) adaptiert wurde, als suppressionsrelevant bezeichnet wurden: der dorsolaterale präfrontale Cortex und mit ihm

weitere vorhandene Aktivitätssteigerungen im Frontallappen während der Suppressionsbedingung sowie verstärkte Aktivität in der hippocampalen und parahippocampalen Formation während des Abrufs der Responseitems. In der Interpretation der Ergebnisse wird deshalb vor allem auf die Bedeutung dieser Regionen fokussiert.

### 3.1 Gruppenvergleich der fMRT-Daten

In den Aktivierungsdaten der jüngeren Studienteilnehmer fand sich für die Suppressionsbedingung im Vergleich zur Responsebedingung eine erhöhte frontale Aktivierung inklusive des dorsolateralen präfrontalen Cortex. Diese frontale Aktivitätssteigerung war vor allem rechtshemisphärisch vorhanden. Bezüglich der Responsebedingung im Vergleich zur Suppressionsbedingung zeigten diese Probanden bilateral eine erhöhte parahippocampale Aktivierung.

Die älteren Probanden der eigenen Stichprobe zeigten im Vergleich zu den jüngeren eine eher unspezifische bilaterale frontale Aktivierung (siehe auch Rosen et al. 2005). Damit ist gemeint, dass sich zwar auch bei ihnen die aufgabenrelevanten frontalen Strukturen als stärker aktiv zeigten. Dennoch war diese Aktivierung in dem Sinn weniger spezifisch, dass zwar Teile des präfrontalen Cortex beteiligt waren, jedoch der dorsolaterale präfrontale Cortex als kritische Region nicht involviert war. Darüber hinaus fanden sich bei den älteren viele, jedoch kleinere Aktivierungscluster in beiden Hemisphären, während bei den jüngeren verstärkt die rechte Hemisphäre großflächig beteiligt war.

Diese Unterschiede in der frontalen Aktivität bei den älteren und jüngeren Probanden lassen des Weiteren darauf schließen, dass die älteren Probanden zwar verstärkt frontale Regionen zum Supprimieren aktivieren, diese jedoch unspezifisch. Somit wären die Aktivierungen unter Umständen auch als weniger effektiv bezüglich ihrer Kontrollfunktion zu beurteilen, was sich in den niedrigeren Exekutivleistungen möglicherweise widerspiegeln könnte (Hypothese 6).

Die hippocampalen und parahippocampalen Aktivierungen, die in der Responsebedingung stärker ausgeprägt waren als in der Suppressionsbedingung, zeigten sich sowohl in den Daten der älteren als auch in den Daten der jüngeren Probanden und erscheinen sehr plausibel, da in dieser Bedingung Informationen aus dem Gedächtnis abgerufen bzw. neu enkodiert werden, eine Aktion, bei der die hippocampale Beteiligung gut bekannt und erforscht ist (für einen Überblick siehe Moscovitch et al., 2006; Sutherland et al., 2006).



In der Arbeit von Rosen et al. (2005) fand sich bei älteren Probanden ein Zusammenhang zwischen Aktivierungssteigerungen im rechten präfrontalen Cortex und dem Volumen des medialen Temporallappens. Gleichzeitig berichteten sie von einer Korrelation zwischen diesem Volumen mit der Gedächtnisperformanz: Geringeres Volumen geht mit niedrigerer Gedächtnisleistung einher. Auch wenn in der vorliegenden Arbeit keine strukturellen Daten zur Volumenbestimmung herangezogen wurden, bestätigt sie dennoch die Befunde von Rosen et al. insofern, dass diejenigen älteren Probanden mit der besseren Abrufleistung (die mit dem höheren kognitiven Funktionsniveau) auch in der Responsebedingung eine Aktivierung im rechten präfrontalen Cortex zeigten, was weder in der Gesamtgruppe noch in der Untergruppe mit dem niedrigeren kognitiven Funktionsniveau der Fall war

### **3.2 Daten der jüngeren Gruppe im Vergleich zur Originalstudie**

Anderson et al. (2004a) kamen in ihrer Studie zu den folgenden Ergebnissen: In der Suppressionsbedingung fanden sie im Vergleich zur Responsebedingung erhöhte Aktivierungen bilateral im präfrontalen Cortex, genauer gesagt im dorsolateralen und ventrolateralen präfrontalen Cortex (Brodmann Areale 45 und 46, mit linksseitig stärkeren Aktivierungen), sowie im anterioren cingulären Cortex (BA 32), in prämotorischen Arealen (BA 6 und 9) und im Sulcus intraparietalis (BA 7). Weitere bilaterale Aktivierungsmuster zeigten sich in den Brodmann Arealen 47 und 13. Darüber hinaus konnte linksseitige erhöhte Aktivität im Parietalcortex (BA 40) festgestellt werden.

Im umgekehrten Vergleich (Response – Suppression) fanden sich erhöhte Aktivierungen in beiden Hippocampi, im frontalen polaren Cortex (BA 9 und rechtes BA 10), in der posterioren Insula (BA 13) und im Cuneus (BA 17 und 18) (siehe Anderson et al., 2004a).

Der präfrontale Cortex, der generell an Arbeitsgedächtnisprozessen (Narayanan et al., 2005) beteiligt ist, gehört also auch zu den wichtigsten Hirnregionen, die bei der *think/no-think* Aufgabe involviert sind. Zum einen spielt diese Region hinsichtlich der Ergebnisse der Anderson-Studie eine entscheidende Rolle. Der präfrontale Cortex, vor allem der dorsolaterale Bereich der Formation, ist möglicherweise ausschlaggebend an der Bildung von Langzeiterinnerungen beteiligt (siehe Blumenfeld & Ranganath, 2006). Jedoch ist er auch als Filter für Erinnerungsspeicherprozesse in die mögliche Inhibition von Konsolidierungsprozessen eingeschlossen. In diese Vorgänge ist der dorsolaterale präfrontale Cortex deswegen involviert, da anzunehmen ist, dass mittels dieser Formation das Arbeitsgedächtnis

entsprechend gesteuert wird (z.B. Cohen et al., 1994; Nyberg et al., 2003; Prabhakaran et al., 2000). Das Arbeitsgedächtnis ist auch als die Fähigkeit beschrieben, Inhalte für kurze Zeit im Gedächtnis behalten, sie manipulieren und stets in Hinblick auf die aktuelle Situation erneuern und flexibel verändern zu können (z.B. Borkowska et al., 2006). Ein intaktes Arbeitsgedächtnis spielt somit eine entscheidende Rolle hinsichtlich der Enkodierung und des Abrufs episodischer Information (siehe z.B. Lee et al., 2000), da es eine grundlegende Voraussetzung für die Aufnahme und das Behalten neuer Information ist.

Zum anderen – dieser Aspekt ist relevant für den Gruppenvergleich hinsichtlich der vorliegenden fMRT-Daten – unterliegt der dorsolaterale präfrontale Cortex deutlich dokumentierbaren altersbezogenen Veränderungen im Sinne einer Funktionsminderung derjenigen Teilleistungsbereiche, die mit intakter präfrontaler Funktion assoziiert sind, wie beispielsweise Exekutivfunktionen, Arbeitsgedächtnis etc. Diese alterskorrelierten Veränderungen sind bislang gut erforscht (beispielsweise Raz et al., 1998).

Die eigenen neurofunktionellen Ergebnisse aus dem *think/no-think* Paradigma bestätigen die Hypothese hinsichtlich der zu erwartenden gesteigerten frontalen Aktivierung für den Kontrast von Suppressions- und Responsebedingung innerhalb der Gruppe der jüngeren Probanden. Die jüngeren Probanden aktivierten hinsichtlich dieses Vergleichs unter anderem Teile des dorsolateralen präfrontalen Cortex (BA 45 und 46), dem eine suppressionsrelevante Funktion zugeordnet werden kann (Anderson et al. 2004a).

Während jedoch Anderson et al. (2004a) eine verstärkt links lateralisierte Beteiligung der frontalen Areale in der Suppressionsbedingung beschrieben, fand sich in der eigenen Stichprobe der jüngeren Probanden eine eher rechtsseitig betonte Aktivierung. Diese rechtsseitig verstärkte Beteiligung wurde bereits in einer Studie von Garavan et al. (1999) als neuronales Korrelat bei inhibitorischer, allerdings nicht kognitiver sondern verhaltensbezogener, Kontrolle beschrieben. Bei Anderson et al. fand sich eine stärker links lateralisierte Aktivität beim Supprimieren mit jedoch bilateraler Beteiligung des dorsolateralen präfrontalen Cortex. Die Hemisphärenlateralisierung der vorliegenden Ergebnisse bestätigen somit die Arbeit von Garavan und Mitarbeitern. Jedoch ergibt sich daraus kein direkter Widerspruch zu Andersons Resultaten, da aufgrund der strukturellen Übereinstimmung auf analoge kognitive Prozesse geschlossen werden kann. Vermutlich spiegelt die unterschiedliche Hemisphären Dominanz verschiedene Strategien wider, die bei den kognitiven Kontrollprozessen von den Probanden eingesetzt wurden.

Aus diesen strategischen Unterschieden ergibt sich des Weiteren eine mögliche Erklärung für die Differenzen auf Verhaltensebene zwischen den Ergebnissen von Anderson und Green (2001) bzw. Anderson et al. (2004a) und den eigenen sowie den Resultaten von Bulevich et al. (2006): Wie auch von Hertel und Calcaterra (2005) gezeigt werden konnte, hat das Einsetzen bestimmter Strategien einen Einfluss auf die Suppressionsleistung. Wenn also die unterschiedliche Hemisphärendominanz auf unterschiedlichen Einsatz bestimmter Strategien zurückzuführen ist, bedingt dies eventuell auch die Effektivität der kognitiven Inhibition. Somit wären die gefundenen Unterschiede erklärbar, auch wenn diese Hypothese nicht empirisch überprüft werden kann, da sich weder in den Veröffentlichungen Aussagen der Probanden über ihre Strategien beim Supprimieren finden lassen noch in der vorliegenden Arbeit derartige Informationen erhoben wurden. Auch wurden in der präsentierten Studie analog zu den Anderson-Arbeiten keine Strategien vorgegeben, ebenso wenig wiesen Bulevich et al. ihre Probanden zur Verwendung einer bestimmten Strategie an.

Für den umgekehrten Kontrast (Response – Suppression) findet sich in den vorliegenden Ergebnissen eine verstärkt bilaterale parahippocampale Aktivierung (verstärkt rechtshemisphärisch), die zwar nicht genau dem Befund der Autoren entspricht (bilaterale Aktivierung im Hippocampus), jedoch auf einen gleichen Vorgang zurückzuführen ist, so dass Hypothese 5 hinsichtlich der von Anderson et al. (2004a) als suppressionsrelevant bezeichneten Areale als bestätigt betrachtet werden kann.

Die nachfolgenden Tabellen 18 und 19 geben eine genaue Übersicht darüber, welche der bei Anderson et al. (2004b) gefundenen regionalen Aktivierungen (Strukturen und/oder Brodmann Areale) repliziert werden konnten (die rot markierten Regionen stimmen mit der jüngeren Gruppe überein).

Tabelle 18: Übereinstimmung der eigenen Ergebnisse der jüngeren Probanden (hier rot markiert) mit der Originalarbeit für die Bedingung Suppression > Response; die Darstellung wurde adaptiert von Anderson et al. (2004b)

	Hemisphäre	Struktur	Brodmann Areal
frontal	links	<b>Gyrus frontalis medius</b>	BA <b>6, 8, 9</b>
		<b>Gyrus frontalis medius</b>	BA 46, 45
		Gyrus frontalis inferior	BA 47, 45,13
		<b>Gyrus frontalis medius</b>	BA 6, 9
	rechts	<b>Gyrus frontalis medius</b>	BA <b>6</b>
		<b>Gyrus frontalis inferior</b>	BA <b>45, 46</b>
		Gyrus frontalis inferior	BA 47, 13
	Mitte	Gyrus frontalis medius	BA 6, 32
Gyrus cinguli		BA 32	
parietal	links	Sulcus intraparietalis	BA 7
	rechts	Sulcus intraparietalis	BA 7
temporal	links	Gyrus temporalis inferior	BA 20
	rechts	Gyrus temporalis inferior	BA 20
occipital	links	Gyrus <b>occipitalis</b> medius	BA <b>19</b>
subkortikal	rechts	Basalganglien	Putamen
		Corpus Callosum	

Tabelle 19: Übereinstimmung der eigenen Ergebnisse der jüngeren Probanden (hier rot markiert) mit der Originalarbeit für die Bedingung Response > Suppression; die Darstellung wurde adaptiert von Anderson et al. (2004b)

	Hemisphäre	Struktur	Brodmann Areal
frontal	links	<b>Gyrus frontalis superior</b>	BA 9
		Gyrus frontalis superior	BA 9
	rechts	Gyrus frontalis superior	BA 10
		Gyrus frontalis medius	BA 6
temporal	links	Hippocampus / <b>Gyrus parahipp.</b>	
	rechts	Hippocampus / <b>Gyrus parahipp.</b>	
Insula	links	Insula posterior	BA 13
	rechts	Insula posterior	BA 13, 43
		Insula posterior	BA 13
parietal	links	<b>Gyrus postcentralis</b>	BA 40
occipital	links	Cuneus / Gyrus <b>occipitalis</b> medius	BA <b>18</b> / 17, 19
		Gyrus lingualis	BA 18
	rechts	Cuneus / Gyrus <b>occipitalis</b> medius	BA <b>18</b> / 17, <b>19</b>

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Aktivierungsdaten der jüngeren Probanden hinsichtlich der kritischen Strukturen weitgehend mit denen von Anderson et al. (2004b) konform gehen, berücksichtigt man den übergreifenden Funktionsbereich Hippocampus/Gyri parahippocampales. Hinsichtlich der parietalen und temporalen Aktivitätssteigerungen unterscheiden sich die Studienergebnisse hinsichtlich der Beteiligung der einzelnen Areale. Zwar sind parieto-temporale Netzwerke bekannt für die Beteiligung an episodischen Gedächtnisprozessen (z. B. im autobiographischen Gedächtnisabruf, siehe Piefke et al., 2003), jedoch sind diese Netzwerke im vorliegenden Kontext nicht von wesentlicher Bedeutung und werden deshalb weitgehend vernachlässigt.

In Kapitel 4.2 und 4.3 werden im Rahmen einer allgemeinen Bewertung der Arbeit weitere Übereinstimmungen und Differenzen hinsichtlich der Aktivierung der relevanten Regionen bei den jüngeren und älteren Probanden der eigenen Studie in Hinblick auf frühere Befunde zu den Themen episodisches Lernen und Gedächtnis und kognitive Inhibition beleuchtet und Erklärungsansätze für Ergebnisse, die nicht den Hypothesen entsprechen, dargestellt. Vorab werden die Aktivierungen der älteren Gesamtstichprobe und der Subgruppe mit eher höherem kognitiven Funktionsniveau beschrieben und diskutiert.

### **3.3 Interpretation der fMRT-Daten der älteren Probanden**

Entsprechend der Kompensationshypothese von Cabeza et al. (2002) sollten die neurofunktionalen Differenzen zwischen den Gruppen desto geringer ausfallen, je höher die kognitiven Leistungen der älteren Probanden sind. Das zeigte sich in den eigenen Ergebnissen zumindest hinsichtlich der frontalen Aktivierung: Die Untergruppe der älteren Probanden mit eher hohem kognitiven Funktionsniveau bezüglich der assoziativ-episodischen Lernleistung unterschied sich rein deskriptiv von den jüngeren hinsichtlich der aktivierten frontalen Areale weniger als die Gesamtgruppe der älteren Teilnehmer.

Die Gesamtgruppe der älteren Probanden zeigte im Vergleich zu den jüngeren Teilnehmern ein verstärkt bilaterales Aktivierungsmuster in den frontalen Arealen. Dieser Befund stimmt mit den Ergebnissen einer Studie zu inhibitorischer Kontrolle von Nielson et al. (2002) überein. In dieser Arbeit konnten die Autoren folgendes Aktivierungsmuster im Vergleich von jüngeren und älteren Probanden für die Inhibitionsbedingung während eines *go/no-go* Paradigmas feststellen: Die älteren Teilnehmer aktivierten ähnliche Regionen wie die

jüngeren, nur verstärkt bilateral und auch vermehrt präfrontale Regionen. Die jüngeren zeigten eher rechtshemiphrische präfrontale Aktivierungen. Nielson et al. konnten folglich ein Aktivierungsmuster herausarbeiten, das in den fMRT-Daten der vorliegenden Arbeit repliziert werden konnte.

Die Unterschiede in der Aktivierung zwischen der Gesamtgruppe an älteren Probanden und den jüngeren Teilnehmer waren deutlich geringer als die zwischen den Personen mit eher niedrigerem kognitiven Funktionsniveau und den jüngeren, da erstere hinsichtlich des betrachteten Kontrastes keine frontale Aktivitäten aufwiesen. Dieses Ergebnis stellt einen wichtigen Befund dar, da es im Einklang mit der Kompensationshypothese von Cabeza et al. (2002) steht. Da es jedoch aufgrund der sehr geringen Stichprobengröße der Gruppe mit eher niedrigem kognitiven Funktionsniveau ( $n = 5$ ) mit Vorsicht zu betrachten ist, findet es in der weiteren Diskussion keine besondere Beachtung.

Im Folgenden werden Ergebnisse, die nicht den Hypothesen entsprechen, sowohl der Gesamtgruppe älterer Probanden als auch der Subgruppe mit dem hoch ausgeprägten kognitiven Funktionsniveau beschrieben.

Zwei Gehirnstrukturen, die sowohl in der Gesamtgruppe von älteren Probanden als auch in der Subgruppe der älteren mit hohem kognitiven Funktionsniveau in der Suppressionsbedingung im Vergleich zur Responsebedingung verstärkt aktiviert waren, werden hier noch gesondert besprochen: die Insulae sowie die rechte Amygdala. Diese Aktivierungen könnten einen Hinweis darauf darstellen, dass für die älteren Probanden die Aufgabe eine emotionale Komponente beinhaltet, da beide Areale bekannt sind für ihre Beteiligung an der Emotionsrezeption (bei der Insula vor allem für aversive Stimuli) und -regulierung (Flynn et al., 1999; Ochsner & Gross, 2005; Sarinopoulos et al., 2006). Diese mögliche Erklärung wird durch die Tatsache gestützt, dass es für die älteren, wie man an der Anzahl der Lerndurchgänge erkennen kann, schwierig war, sich die erforderliche Menge an Wortpaaren einzuprägen und somit die Aufgabe für sie eher beschwerlicher und unangenehmer als für die jüngeren war.

Eine weitere Erklärung für die Insulaaktivierung könnte noch sein, dass auch dieses Areal an der Inhibition beteiligt war, wie sich beispielsweise in einer Studie von Wyland et al. (2003) zeigte. In dieser Studie wurden die Probanden angewiesen, ihr Gedächtnis von allen Gedanken zu befreien („*clear your mind*“) und nur in dieser speziellen Bedingung fand sich die erhöhte Insulaaktivität. Da die Insula eine sehr komplexe Gehirnformation darstellt, der

viele unterschiedliche Funktionen zugeordnet sind (Überblick bei Flynn et al., 1999) und es mit den verwendeten Methoden nicht eindeutig festzustellen ist, welcher besondere Teilbereich der Insula genau involviert ist, werden hier lediglich mögliche Interpretationsansätze dieser speziellen Aktivierung vorgeschlagen, die keinen Anspruch auf absolute Gültigkeit erheben.

Eine weitere, wahrscheinlichere Erklärungsmöglichkeit für die Insulaaktivierung bietet eine Arbeit von Ramautar et al. (2006). Die Autoren fanden in ihrem Paradigma zu inhibitorischer Kontrolle (*stop-signal*) eine erhöhte bilaterale Insulaaktivierung, wenn ein Proband in der *stop*-Bedingung falsch positiv reagierte. Somit könnte die Insula ein Prädiktor für fehlgeschlagene Inhibition darstellen. Bezüglich der eigenen Daten könnte dies ein neurofunktioneller Hinweis darauf sein, dass trotz aktiver frontal-assoziiierter Kontrollfunktion die älteren nicht in der Lage waren, die gelernten Inhalte zu supprimieren. Dieser Befund widerspricht zwar vordergründig den Ergebnissen von Wyland und Mitarbeitern. In dieser Studie wurde jedoch lediglich der Versuch, das Gedächtnis von allen Gedanken zu befreien, dargestellt, ohne Angabe, wie erfolgreich die Probanden dabei waren. In der Arbeit von Ramautar et al. war hingegen die verfehlte Inhibition anhand der Fehlerzahl klar zu erkennen.

In der Altersforschung gibt es bislang Erkenntnisse dahingehend, dass die Aktivierung der Amygdala bei emotionalen wie neutralen Gesichtern keine alterskorrelierten Veränderungen aufweist. Sowohl Wright et al. (2006) als auch Wedig et al. (2005) fanden in ihren Studien vergleichbare Amygdalaaktivitäten bei jüngeren und älteren Probanden. Während Wright et al. weder funktionelle noch strukturelle Veränderungen in den Amygdalae der jüngeren und älteren Studienteilnehmer feststellen konnten, kamen Wedig et al. zu einem anders gearteten Resultat. So konnten sie bei neutralen Stimuli lediglich eine unterschiedlich starke Lateralisierung dahingehend feststellen, dass bei den älteren verstärkt die rechte Amygdala beteiligt war. Die Autoren schlossen spekulativ anhand ihrer Ergebnisse auf eine generelle Veränderung der Lateralisierung der Amygdalabeteiligung aufgrund intrinsischer altersbedingter anatomischer Volumenänderungen dieser Formation, die sie in ihrer Stichprobe beobachten konnten. In den eigenen Ergebnissen fand sich bei den älteren Probanden ebenfalls eine Aktivierung der rechten Amygdala, die mit diesem Befund in Einklang steht, allerdings ist hier einschränkend festzuhalten, dass bei den älteren Probanden der vorliegenden Studie keine Volumenmessung der Amygdala durchgeführt wurde. Somit kann lediglich hypothetisch diskutiert werden, inwiefern diese rechtshemisphärische

Aktivierung tatsächlich einen altersbezogenen Befund darstellt. Da die jüngeren Probanden keine Amygdalaaktivität aufwiesen, ist diese Schlussfolgerung mit Vorsicht zu ziehen.

## **4. Zusammenfassende Bewertung und Ausblick**

### **4.1 Kritische Würdigung der Arbeit**

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit sollten aus verschiedenen Gründen mit Vorsicht interpretiert werden: Die Stichprobengröße war relativ gering bei gleichzeitig recht hohen Standardabweichungen. Bei fMRT-Studien werden üblicherweise Probandengruppen von zehn bis 16 Personen herangezogen (Thirion et al., 2007), womit nach Desmond und Glover (2002) bereits sinnvolle Aussagen über typischerweise aktivierte Strukturen getroffen werden können. Somit können zwar die vorliegenden Bildgebungsdaten wertvolle Einblicke in die neuronalen Grundlagen der mittels des Paradigmas beobachteten kognitiven Prozesse liefern, hinsichtlich der Verhaltensdaten im *think/no-think* Paradigma ist jedoch Vorsicht geboten: Um die Ergebnisse auf Verhaltensebene generalisieren zu können, ist weitere Forschung im Sinne einer Erweiterung der Stichprobengröße in diesem Bereich bzw. mittels des *think/no-think* Paradigmas nötig.

Eine weitere Einschränkung betrifft die Beschaffenheit des Paradigmas an sich: Da mit ihm ein Prozess der kognitiven Suppression erfasst werden soll, also ein Vorgang, der nicht unmittelbar durch die Studienleiterin überprüft werden konnte, war es schwierig zu kontrollieren, ob alle Teilnehmer die Instruktionen richtig befolgten. Zwar kann anhand des finalen Abrufs schlussgefolgert werden, dass vermutlich aufgrund geringerer Gedächtnisleistung bezüglich der Suppressionswörter diese Wörter wohl auch supprimiert wurden, es gibt aber keine eindeutigen Belege dafür, dass diese relativen Defizite auch tatsächlich aufgrund kognitiver Inhibition beobachtet werden konnten.

Aus der Tatsache, dass während der *think/no-think* Aufgabe nur die Response- und Suppressionsitems gezeigt werden, ergibt sich ein weiterer Kritikpunkt am Paradigma selbst: Dadurch dass die Baselineitems während dieser Aufgabe nicht gezeigt werden, kommt kein Proband in Versuchung, sich an diese zugehörigen Wörter wiederholt zu erinnern, was bei



den Suppressionsitems laut Angaben im Fragebogen KSSE wohl doch geschah. Es könnten exaktere Aussagen getroffen werden, wenn die Baselineitems ebenfalls während der *think/no-think* Aufgabe präsentiert werden, möglicherweise mit der Aufforderung, diese Wörter weder wiederholt abzurufen noch zu supprimieren, sondern sie schlicht zu ignorieren. In diesem Fall wäre die Suppressionsbedingung methodisch eindeutiger von der Baselinebedingung zu unterscheiden.

Ebenfalls kritikwürdig ist es, die Annahme vorauszusetzen, dass generell das BOLD-Signal von jüngeren und älteren Probanden vergleichbar ist, wovon in Anlehnung an Nielson et al. (2004) zunächst ausgegangen wurde. Die eigenen Daten geben jedoch eher Anlass zur Annahme, dass die beiden hier untersuchten Gruppen nicht zu vergleichen sind, da der Gruppenvergleich sowohl hinsichtlich der Response- als auch hinsichtlich der Suppressionsbedingung nur bei den jüngeren gesteigerte Aktivität ergab und das in jeweils den gleichen Arealen. Somit können die beiden Gruppen zwar rein deskriptiv verglichen werden. Es war jedoch nicht möglich, mittels des Programms BrainVoyager QX (Goebel, 2006), das für die Analyse benutzt wurde, einen direkten Gruppenvergleich zu kalkulieren.

Aus der Literatur gibt es zunächst widersprüchliche Befunde zum BOLD-Signal bei älteren und jüngeren Probanden. So berichten Mehagnoul-Schipper et al. (2002) von einer Veränderung des BOLD Signals im Altersverlauf im Sinne einer Aktivierungsminderung: Sowohl mittels Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) als auch mittels fMRT fanden sich altersbedingte Veränderungen: hinsichtlich NIRS aufgabenbezogene Aktivitätsminderung, in der funktionellen Bildgebung kleinere regionale Aktivierungscluster. Somit konnte in dieser Studie eine Signalminderung im Altersverlauf beobachtet werden. Auch Raemaekers et al. (2006) fanden in ihrer Studie zu Pro- und Antisakkaden eine globale Reduzierung hinsichtlich der BOLD-Antwort bei älteren Teilnehmern (55-72 Jahre) im Vergleich zu zwei Gruppen von jüngeren Probanden (18-30 und 30-55 Jahre). Die Autoren zogen aus ihren Ergebnissen den Schluss, dass dieses erniedrigte Signal die generelle Minderung der neuronalen Aktivität widerspiegeln könnte. Effekte hinsichtlich neuronaler Ineffektivität und Dedifferenzierung<sup>3</sup> auf das MR-Signal bei älteren im Vergleich zu jüngeren Probanden fanden auch Zarahn et al. (2007) in einer Aufgabe zum verzögerten passiven Gedächtnis. Diese Effekte zeigten sich beim Enkodieren und teilweise im Verzögerungsintervall.

---

<sup>3</sup> Der Begriff *Dedifferenzierung* bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Zuordnung von speziellen kognitiven Funktionen zu spezifischen Gehirnarealen bei älteren Personen weniger klar abgegrenzt ist als bei jüngeren.

Hingegen gibt es auch Hinweise auf erhöhte Signalintensität bei älteren Probanden. So ergab sich aus einer TMS-Studie (*TMS* = transkraniale Magnetstimulation), dass zwar die generelle kortikale Physiologie im Altersverlauf keine Veränderungen hinsichtlich der hämodynamischen Aktivität aufweist, während sich aufgabenspezifische Aktivierungsunterschiede zeigten (McConnell et al., 2003). So fanden die Autoren keine Unterschiede in der Aktivität von jüngeren und älteren Probanden bei direkter TMS-Stimulation, während bei der indirekten Stimulation durch die Bearbeitung einer motorischen Aufgabe Unterschiede im Sinne eines gesteigerten prozentualen MR-Signal bei den älteren Probanden festzustellen waren. Möglicherweise spiegelt diese gesteigerte Aktivierung eine größere Anstrengung bei den älteren Teilnehmern wider.

Ein weiterer Kritikpunkt betrifft die Methodik bei der Auswertung der fMRT-Daten: Um die Probanden zu einer Gruppe zusammenfassen zu können, wurden alle individuellen Gehirne normalisiert und in den Talairachraum transformiert. Da jedoch bei jeder Person die Gehirnstrukturen unterschiedlich ausgeprägt sind, kann es hier passieren, dass die Anpassung an das Standardgehirn nicht perfekt möglich ist. Dadurch kann es zu geringfügigen strukturellen Verschiebungen kommen, was gerade bei kleinen Formationen wie der hippocampalen dazu führen kann, dass das visualisierte Signal, die Aktivierung, nicht der exakt richtigen Struktur zugeordnet werden kann.

## **4.2 Bewertung der Ergebnisse**

Die Ergebnisse der präsentierten Studie replizieren die Ergebnisse von Anderson et al. (2004a) insofern, als sich auf neuronaler Ebene anhand des Aktivierungsmusters ein Suppressionseffekt zeigt, und unterstützen somit die Annahme, dass gesunde jüngere Erwachsene über die neurofunktionellen Voraussetzungen zur aktiven kognitiven Inhibition verfügen. Die Resultate auf Verhaltensebene (Anderson & Green, 2001; Anderson et al., 2004a) konnten hingegen nur eingeschränkt repliziert werden. In beiden untersuchten Gruppen fand sich kein Suppressionseffekt gemäß der Definition der Autoren. Jedoch konnte in Übereinstimmung mit den Anderson-Studien ein signifikant besserer Gedächtnisabruf der Responsewörter im Vergleich zu den Suppressionswörtern ausgemacht werden. In der weiteren Analyse der beiden untersuchten Gruppen zeigte sich, dass die Verhältnisse der Anzahl der abgerufenen Wörter pro Bedingung (Baseline, Response und Suppression) in beiden Gruppen ähnlich ausgeprägt war: Es wurden in beiden Gruppen mehr Responsewörter

als Baselinewörter abgerufen, während sich die Teilnehmer wiederum besser an die Baselineitems als an die Suppressionsitems erinnern konnten. Der eigentliche Suppressionseffekt war in beiden Gruppen nicht signifikant vorhanden, dennoch lässt sich anhand der Daten erkennen, dass diejenigen der jüngeren eher einen solchen Prozess abbilden, als in den Ergebnissen der älteren zu finden ist. Wie bereits erwähnt stellen möglicherweise die hohen Standardabweichungen hinsichtlich der Baselinebedingung bei den jüngeren Probanden eine Erklärungsmöglichkeit dafür dar, warum der Unterschied zwischen Suppressions- und Baselinebedingung im finalen Abruf nicht statistisch signifikant wurde.

Die Verhaltensdaten stehen in Einklang mit den Ergebnissen von Bulevich et al. (2006), die das *think/no-think* Paradigma analog zu Anderson und Green (2001) anwandten und zu einem Resultat kamen, das mit dem hier präsentierten vergleichbar ist. Anderson und Green argumentierten in ihrer Originalarbeit, dass durch den Einsatz von exekutiver Kontrolle die willentliche Suppression von kurz zuvor enkodiertem Material bewirkt werden kann. Weder in deren Untersuchung noch in der Studie von Bulevich et al. wurden die Teilnehmer bezüglich ihrer exekutiven Leistungen einer Prüfung mit standardisierten neuropsychologischen Verfahren unterzogen. In der vorliegenden Arbeit wurden solche Tests eingesetzt mit dem Ergebnis, dass die jüngere Probandengruppe intakte Exekutivfunktionen zeigte. Somit kann nicht argumentiert werden, dass möglicherweise die präsentierte Stichprobe in ihren Kontrollfunktionen beeinträchtigt war und sich deswegen in ihren Verhaltensdaten kein Suppressionseffekt finden ließ. Vielmehr scheint es der Fall zu sein, dass sich mittels des *think/no-think* Paradigmas zwar aktive Kontrollvorgänge, jedoch möglicherweise keine kognitiven Suppressionsprozesse gemäß Anderson und Green nachweisen lassen. Zumindest nicht, wenn man die Existenz der aktiven Suppression einzig am Unterschied zwischen der Suppressions- und der Baselinebedingung festmacht, wie bislang in Anlehnung an Anderson und Green (2001) in der Literatur vorgegangen wurde.

Die Baselineitems wurden während der *think/no-think* Aufgabe nicht präsentiert, während gleichzeitig die zu supprimierenden Wörter den Probanden doch ins Gedächtnis kamen. Aufgrund dieser beiden Tatsachen erscheint es nahezu eine logische Folge zu sein, dass sich manche Probanden besser an die Suppressionsitems erinnern konnten als an die Baselinewörter. Dies wiederum erklärt, warum der Suppressionseffekt so nicht zu beobachten war. Dennoch kann aufgrund der vorliegenden Ergebnisse auch nicht davon ausgegangen werden, dass ein solcher Effekt tatsächlich nicht existiert, da der Abruf der Suppressionsitems

immerhin deutlich niedriger ausfiel als der Abruf der Wörter aus der Responsebedingung. Auch diese Differenz kann darauf hinweisen, dass die Suppressionswörter unter Einsatz exekutiver Kontrollfunktionen aus dem Gedächtnis verdrängt wurden.

Folglich kann der Unterschied zwischen den Response- und Suppressionswörtern zumindest als Nachweis eines exekutiven Prozesses dienen. Wenn auch keine kognitive Inhibition per definitionem auf statistischem Niveau nachgewiesen werden kann, so zumindest eine übergeordnete Kontrollfunktion mittels derer das Einspeichern der Suppressionsitems im Gegensatz zu den Responseitems abgeschwächt wird. Dafür spricht neben den Ergebnissen in den Verhaltensdaten auch die Tatsache, dass die Probanden der beiden Stichproben im fMRT-Experiment ein Aktivierungsmuster aufweisen, aus dem sich Kontrollprozesse während der Suppressionsbedingung herauslesen lassen.

Die eigenen Ergebnisse der jüngeren Stichprobe hinsichtlich der Verhaltensdaten sind somit unter die Resultate derjenigen Forschergruppen subsumierbar, die mit dem *think/no-think* Paradigma keinen statistisch bedeutsamen Suppressionseffekt nachweisen konnten, neben Bulevich et al. (2006), sind hier beispielsweise Hertel und Calcaterra (2005) sowie Hertel und Gerstle (2003) zu nennen, die mit leicht veränderten Stimuli und Bedingungen das Paradigma einsetzten ohne letztendlich das zentrale Ergebnis von Anderson und Green (2001) replizieren zu können.

Die Bildgebungsdaten der jüngeren Probandengruppe stehen hinsichtlich der kritischen Regionen und Strukturen in Einklang mit der Originalarbeit. Die unterschiedliche Hemisphärenlateralisierung könnte, wie bereits beschrieben wurde, ein Hinweis auf die Anwendung unterschiedlicher Strategien sein, was wiederum eine weitere mögliche Erklärung für die Differenzen in den Verhaltensdaten zwischen den eigenen Daten und den Ergebnissen der Originalstudie liefern könnte.

Die aktuellen Ergebnisse bezüglich des Gruppenvergleichs unterstützen die anfänglich aufgestellte These, dass die kognitive Inhibition vom gesunden Altersprozess beeinflusst wird, im Sinne von einem altersassoziierten Defizit in diesem Bereich, nur teilweise. Anhand der neurofunktionellen Daten sind alterskorrelierte Unterschiede erkennbar. In den Verhaltensdaten lassen sich hingegen nur geringe numerische Differenzen bezüglich des Unterschieds zwischen Suppressions- und Baselineabruf ausmachen, die keine deutliche alterskorrelierte exekutive Dysfunktion widerspiegeln. Dennoch konnte auch eine altersassoziierte Beeinträchtigung hinsichtlich der episodischen Enkodier- und Gedächtnis-

leistungen mittels des *think/no-think* Paradigmas ausgemacht werden: In allen drei Bedingungen zeigte sich im finalen Abruf im Gruppenvergleich eine signifikant niedrigere Erinnerungsleistung. Darüber hinaus benötigten die älteren Probanden deutlich mehr Lerndurchgänge, um sich die erforderliche Menge an Wortpaaren einzuprägen als die jüngeren Teilnehmer. Das deutet auf ein relatives Defizit im episodisch-assoziativen Lernen hin.

Bringt man die neuropsychologischen und neurofunktionellen Ergebnisse der älteren Studienteilnehmer mit den Resultaten von Craik und Bialystok (2006) in Zusammenhang, die darauf hinweisen, dass die Exekutivfunktionen zu den ersten Fähigkeiten gerechnet werden, die im Alter einem Abbau unterliegen, kommt man zu dem Ergebnis, dass sich vermutlich auch die kognitive Inhibition im Alter beeinträchtigt zeigt, zusätzlich zu einer Minderung in den Lern- und Gedächtnisleistungen. Auch in der weiteren Forschungsliteratur finden sich Anhaltspunkte dafür, davon auszugehen, dass Suppression als eine Form von inhibitorischer Kontrolle im Alter beeinträchtigt ist (Gazzaley et al., 2005; Craik & Bialystok, 2006; Hasher et al., 1991; Sweeney et al., 2001), auch wenn das eingesetzte Paradigma diesbezüglich keinen eindeutigen Beweis liefern konnte. Jedoch kann davon ausgegangen werden, dass ein exekutiver Vorgang im Sinne einer Metagedächtnisleistung während der kritischen Aufgabe stattgefunden hat. Darauf deutet wie schon erwähnt der signifikante Unterschied im finalen Abruf zwischen Response- und Suppressionswörtern hin. Alterskorrelierte Differenzen diesbezüglich zeigten sich jedoch nicht auf Verhaltens- sondern ausschließlich auf neuronaler Ebene.

Außerdem deuten die Ergebnisse der beiden älteren Subgruppen auf neuronaler Ebene darauf hin, dass exekutive Vorgänge möglicherweise neurofunktional ähnlich kompensierbar sind wie andere kognitive Prozesse, die einem altersassoziierten Abbau unterliegen (wie beispielsweise episodisches Lernen, was das HAROLD-Modell von Cabeza, 2002, nahe legt). Dies zeigt sich darin, dass die älteren Probanden mit dem höheren kognitiven Funktionsniveau im Vergleich zur Gesamtgruppe der älteren und noch vielmehr im Vergleich zur Subgruppe mit eher niedrigerem kognitiven Funktionsniveau verstärkt frontale Regionen zur Gedächtnisorganisation bzw. Suppression heranziehen. Auf Verhaltensebene im *think/no-think* Paradigma findet sich in den Subgruppen der älteren Probandenstichprobe entsprechend ein numerisch desto deutlicherer Unterschied zwischen der Gedächtnisleistung bezüglich der

Suppressions- und Baselineitems je mehr frontale Regionen während der *no-think* Bedingung aktiviert waren.

Die Vermutung hinsichtlich der Kompensationsmöglichkeiten steht in Übereinstimmung mit früheren Befunden zur Veränderung der präfrontalen Leistungen im gesunden Altern (West, 1996; Parkin et al., 1995; Rajah & D'Esposito, 2005). Da während der fMRT-Untersuchung eine Aufgabe bearbeitet wurde, für die exekutive Kontrolle genutzt werden musste, kann daraus auch geschlossen werden, dass diese Kontrollfunktion und intakte präfrontale kortikale Leistung zusammenhängt. Aufgrund der theoretischen Vorannahmen erscheint es sinnvoll, diese testpsychologisch objektivierbare verminderte exekutive Leistung einer ebenfalls altersbedingten veränderten präfrontalen und verminderten dorsolateralen präfrontalen Funktion zuzuordnen, was sich anhand der neuronalen Aktivierungsmuster zu bestätigen scheint.

Neben den präfrontalen Strukturen spielt der Hippocampus in der vorliegenden Arbeit eine wichtige Rolle hinsichtlich der Einspeicherungs- und Gedächtnisprozesse. Dennoch wurde in Anlehnung an das Studiendesign von Anderson et al. (2004a) keine spezielle Messung des Hippocampusvolumens der einzelnen Studienteilnehmer durchgeführt. Neuere Studien geben darüber hinaus Anlass zu der Annahme, dass die individuelle Hippocampusgröße keinen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit hinsichtlich des episodischen Gedächtnisses hat (für einen Überblick siehe van Petten, 2004). Des Weiteren scheint ein geringeres hippocampales Volumen auch keinen Hinweis auf altersbezogenen Abbau darzustellen (Lupien et al., 2007). In der entsprechenden Studie zeigte sich, dass sich die Volumina aller Teilnehmer interindividuell stärker unterscheiden als Verschiedenheiten zwischen älteren und jüngeren Teilnehmern eruiert werden konnten. Zusätzlich deuten Studienergebnisse darauf hin, dass die hippocampale Formation funktionell vom gesunden Altersprozess unbeeinträchtigt bleibt (Rand-Giovannetti et al., 2006). Die eigenen Daten spiegeln in beiden Probandengruppen erwartungsgemäß eine hippocampale bzw. parahippocampale Beteiligung in der Gedächtnisbedingung (Responsebedingung) wider, lassen jedoch keinen Schluss auf eventuelle altersbedingte neurofunktionelle oder -strukturelle Verschiedenheiten zu.

### 4.3 Allgemeine Bewertung der Aussagekraft der vorliegenden Daten über die Fragestellung hinausgehend

Auf Verhaltensebene ist des Weiteren zu berücksichtigen, dass es Ergebnisse aus Studien zur kognitiven Suppression gibt, die von einem so genannten paradoxen Suppressionseffekt sprechen. Damit ist gemeint, dass diejenigen Probanden, welche einen bestimmten Gedanken unterdrücken sollen, sich viel häufiger daran erinnern als Probanden, die nicht angewiesen wurden, aktiv zu supprimieren. Diese möglicherweise paradoxen Befunde zur kognitiven Inhibition, die in der Literatur bislang sehr uneinheitlich diskutiert werden (für einen Überblick siehe Abramowitz et al., 2001; Rassin et al., 2000; Wenzlaff & Wegner, 2000), wurden in der Durchführung der aktuellen Studie insofern berücksichtigt, als vor Beginn des *think/no-think* Paradigmas die Probanden weder informiert wurden, dass es um willentliche Suppression geht, noch darüber, welche Effekte zu erwarten wären. Auch äußerte sich die Studienleiterin nicht zu ihrer eigenen Überzeugung, ob das aktive Unterdrücken von Gedanken und Gedächtnisinhalten generell möglich und Erfolg versprechend sei. Die Überzeugungen der Probanden selbst wurden mittels des selbst erstellten Kontrollfragebogens zur subjektiven Suppressionseinschätzung (KSSE) erhoben. Aus den Fragebogendaten ergab sich eine eher uneinheitliche Einschätzung hinsichtlich der Wirkung der kognitiven Suppression. Der Erfolg beim Unterdrücken der Erinnerungen wurde jedoch subjektiv als nicht sehr ausgeprägt eingeschätzt, was sich in den Verhaltensdaten widerspiegelte. Ebenso findet sich die allgemeine Einschätzung, dass die Baselinewörter nicht besser im Gedächtnis blieben als die Suppressionsitems, in den behavioralen Ergebnissen des *think/no-think* Paradigmas wieder, wie die Tatsache, dass die Probanden sich gelegentlich an die Zielwörter der Suppressionsitems entgegen der Anweisung doch erinnerten. Dennoch ergaben sich rechnerisch keine bedeutsamen Korrelationen zwischen der Suppressionseinschätzung und der tatsächlichen Leistung.

Insgesamt scheinen angesichts der Vorbefunde und auch der eigenen Ergebnisse die individuellen Unterschiede zwischen den Probanden zu groß zu sein, als dass man einheitlich von paradoxer oder weniger paradoxer Wirkung der kognitiven Inhibition sprechen könnte. Als geeignetes Messinstrument für die persönliche Neigung zu kognitiver Kontrolle hat sich das *White-Bear-Suppression-Inventory* von Wegner und Zanakos (1994 siehe auch; Muris et al., 1996) erwiesen. In der vorliegenden Studie wurde es nicht eingesetzt, sondern der selbst erstellte KSSE, da es für die Beantwortung der Fragestellung wichtiger erschien, die Einstellung zu Suppression generell und auf das spezielle Paradigma bezogen zu erfassen und

nicht die Häufigkeit, mit der eine Person im Alltag mit sogenannten *intrusive thoughts* (deutsch: störende Gedanken, die nicht unterdrückt werden können) zu tun hat und wie generell Vermeidungsstrategien im Alltag aussehen, da sie auf die geforderte Inhibition im *think/no-think* Paradigma schwer übertragbar sind. Ein weiterer Aspekt, der in der Literatur allerdings relativ einheitlich diskutiert wird, ist der Einfluss der Messinstrumente auf die Ausprägung der Suppressionsleistung (Wenzlaff & Wegner, 2000; Anderson, 2005). Bislang schien sich das hier eingesetzte Paradigma als ein robustes Instrument für die Erfassung der kognitiven Inhibition auf Verhaltens- und neurobiologischer Ebene erwiesen zu haben (Anderson & Green, 2001; Anderson et al., 2004a), weswegen es in der vorliegenden Arbeit verwendet wurde. Die eigenen Daten und die neuere Arbeit von Bulevich et al. (2006) sprechen jedoch gegen diese Annahme.

Die Aussagekraft der vorliegenden Daten beschränkt sich lediglich auf neutrale Stimuli. Es liegen bereits Arbeiten zum *think/no-think* Paradigma mit emotionaler Komponente vor: Bei der Verwendung von emotionalen Stimuli kamen Depue et al. (2006) zu dem Ergebnis, dass emotional negative Inhalte leichter zu enkodieren sind als neutrale, was sich daran zeigte, dass die Probanden weniger Lerndurchgänge benötigten, um sich die emotionalen Stimuli einzuprägen als die neutralen zu lernen. Gleichzeitig zeigte sich, dass die emotionalen Inhalte besser supprimiert werden konnten als die neutralen. Die Autoren schlussfolgerten aus diesen Resultaten, dass die kognitive Kontrolle beim Verarbeiten von negativen Stimuli größer ist, was möglicherweise eher mit dem Bedürfnis, die Inhalte zu vergessen im Zusammenhang steht, als mit der Notwendigkeit diese zu verdrängen.

Eine kürzlich erhobene Studie gibt Anlass zu der Annahme, dass ältere Probanden auch bei der Verwendung von emotional gefärbten Stimuli ein relatives Suppressionsdefizit im Vergleich zu einer jüngeren Stichprobe aufweisen, da auch hier die relevanten Regionen den dorsolateralen präfrontalen Cortex mit einschließen (Lévesque et al., 2003). Dieses Areal, dem auch bei der vorliegenden Arbeit eine tragende Rolle in der kognitiven Inhibition zukommt, scheint also auch maßgeblich (neben anderen Strukturen wie Amygdala und Insula) an der Emotionsregulation beteiligt zu sein, wodurch sich weitere Fragestellungen in der Altersforschung zu Veränderungen dieser Mechanismen ergeben.

Für weitere Forschungsansätze wäre es folglich von großem Interesse, die kognitive Inhibition emotional konnotierter Inhalte auf neuronaler Ebene generell sowie hinsichtlich der altersbezogenen Veränderungen zu untersuchen.



#### 4.4 Ausblick

Die vorliegenden Daten stehen wie schon erwähnt in Einklang mit der neuen Studie von Bulevich et al. (2006). Wie bereits im vorangegangenen Abschnitt beschrieben, zeigte sich analog zu dieser Arbeit in den eigenen Daten lediglich ein numerischer Unterschied zwischen den Baseline- und Suppressionsitems, der keine statistische Signifikanz erreichte.

Die Ergebnisse fügen sich einerseits in den Rahmen der bereits bestehenden Befunde ein: Sie spiegeln die frontal-assoziierten funktionalen Defizite im gesunden Altern auf testpsychologischer und neurobiologischer Ebene wider, die Arbeit von Anderson et al. (2004a) konnte hinsichtlich der neuronalen Ergebnisse weitgehend repliziert werden. Dennoch ließ sich mittels des eingesetzten Paradigmas kein zuverlässiger Suppressionseffekt im Vergleich zur Baseline nachweisen. Die vorliegende Arbeit bestätigt einerseits bereits bekannte Befunde, bringt jedoch auch einen neuen entscheidenden Aspekt in die Gedächtnisforschung ein: Obwohl die älteren Probanden sowohl in den neuropsychologischen Testverfahren als auch in den neurofunktionellen Daten Einbußen hinsichtlich der Exekutivfunktionen und der damit assoziierten Gehirnareale zeigten, fand sich kein Unterschied in den Verhaltensdaten, der auf eine altersassoziierte Dysfunktion im Abruf hinweisen könnte. Aufgrund der neurofunktionellen Ergebnisse (verstärkt bilaterale frontale Aktivierung) liegt es nahe, den Vorgang, der den unterschiedlichen Abruf der Suppressions- und Responseitems bedingt, den Exekutivfunktionen zuzuordnen. Mittels dieses Prozesses wird anscheinend die Einspeicherung der Gedächtnisinhalte organisiert. Diese Organisation besteht darin, dass aufgrund von Filterprozessen die Response- im Gegensatz zu den Suppressionswörtern besser im Gedächtnis behalten werden.

Dieser Befund steht in Einklang mit dem von Mather und Carstensen (2005) beschriebenen *positivity*-Effekt im Alter. Dieser bestand darin, dass sich die älteren Probanden der untersuchten Stichprobe von emotional unterschiedlich konnotierten Stimuli deutlich mehr positive merken konnten als eine jüngere Vergleichsgruppe. Da in der vorliegenden Studie jedoch ausschließlich neutrale Inhalte zu rezipieren waren, generalisieren die aktuellen Befunde die Ergebnisse von Mather und Carstensen (siehe auch Mather & Knight, 2005). Nicht nur per se wünschenswert zu erinnerndes – weil positiv konnotiertes – Material wird von älteren Personen besser behalten. Vielmehr zeigten sich die älteren Probanden der eigenen Studie generell dazu in der Lage, diejenigen Inhalte, die laut Anweisung gespeichert werden sollen, besser zu behalten als Inhalte, die nicht behalten werden sollen. Somit geben

die Ergebnisse interessante Einblicke in Möglichkeiten bezüglich der Gedächtnisorganisation bei älteren Personen. Beispielsweise könnten ältere Personen aufgrund knapperer Ressourcen, die sie für Lernvorgänge zur Verfügung haben, gezwungen sein, bewusst oder unbewusst zu entscheiden, welche Gedächtnisinhalte sie wirklich enkodieren wollen.

Die Ergebnisse aus der Bildgebung und den neuropsychologischen Daten erscheinen in Hinblick auf frühere Ergebnisse zur Funktionsminderung des präfrontalen Cortex bei älteren Probanden und auch bezüglich der zu erwartenden relativen Reduzierung der Exekutivfunktionen im gesunden Altersverlauf plausibel. In den vorliegenden Resultaten bestätigen sich frühere Befunde zur Minderung der exekutiven Leistungen im Alter, sowie bezüglich der frontalen Hyperaktivität als Kompensationsmechanismus.

Zusammenfassend vermitteln die mit der präsentierten Studie gewonnenen Ergebnisse einen vertieften Einblick in die kognitiven Veränderungen beim gesunden Altersprozess. Ein größeres Verständnis diesbezüglich ist notwendig, betrachtet man die derzeitige Entwicklung der Bevölkerungspyramide in Deutschland (Statistisches Bundesamt, 2007). Da der Anteil an älteren Menschen immer mehr zunimmt und somit auch die altersbedingten Veränderungen und Krankheiten beständig anwachsen, ist die genaue Erforschung des gesunden Altersverlaufs von unersetzbarem Wert. Die Resultate der vorliegenden Arbeit beziehen sich ausschließlich auf gesunde Probanden. Für die Untersuchung von alterskorrelierten Krankheiten ist es zunächst von wesentlicher Bedeutung, zu wissen, wie der (neuro-)kognitive Status gesunder alternder Personen exakt beschaffen ist. Somit trägt die Arbeit zur grundlegenden Altersforschung bei und bereitet bzw. festigt dadurch den Boden für weitere wissenschaftliche Untersuchungen auf diesem Gebiet.

## V. Literatur

- Abramowitz, J. S., Tolin, D. F., & Street, G. P. (2001). Paradoxical effects of thought suppression: a meta-analysis of controlled studies. *Clinical Psychology Review, 21*, 683-703.
- Allen, P. A., Ashcraft, M. H., & Weber, T. A. (1992). On mental multiplication and age. *Psychology and Aging, 7*, 536-545.
- Allen, P. A., Smith, A. F., Jerge, K. A., & Vires-Collins, H. (1997). Age differences in mental multiplication: evidence for peripheral but not central decrements. *The Journals of Gerontology, 52*, 81-90.
- Amelang, M. & Bartussek, D. (2001). *Differentielle Psychologie and Persönlichkeitsforschung*. (5 ed.) Stuttgart: Kohlhammer.
- Anderson, M. C. (2005). The role of inhibitory control in forgetting unwanted memories: A consideration of three methods. In C. MacLeod & B. Uttl (Eds.) *Dynamic Cognitive Processes* (pp. 159-190). Tokyo: Springer-Verlag.
- Anderson, M. C. & Green, C. (2001). Suppressing unwanted memories by executive control. *Nature, 410*, 366-369.
- Anderson, M. C., Ochsner, K. N., Kuhl, B., Cooper, J., Robertson, E., Gabrieli, S. W. et al. (2004a). Neural systems underlying the suppression of unwanted memories. *Science, 303*, 232-235.
- Anderson, M. C., Ochsner, K. N., Kuhl, B., Cooper, J., Robertson, E., Gabrieli, S. W. et al. (2004b). Neural systems underlying the suppression of unwanted memories: Online supporting material. *Science*.
- Aschenbrenner, S., Tucha, O., & Lange, K. W. (2000). *Regensburger Wortflüssigkeits-Test RWT*. Göttingen: Hogrefe-Verlag.
- Baschek, I.-L., Bredenkamp, J., Oehle, B., & Wippich, W. (1977). Bestimmung der Bildhaftigkeit, Konkretetheit und der Bedeutungshaltigkeit von 800 Substantiven. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie, 24*, 353-396.
- Bäumler, G. (1985). *Farbe-Wort-Interferenztest nach J.R. Stroop (FWIT)*. Göttingen: Hogrefe-Verlag.
- Beevers, C. G. & Meyer, B. (2004). Thought suppression and depression risk. *Cognition and Emotion, 18*, 859-867.
- Benjamini, Y. & Hochberg, Y. (1995). Controlling the False Discovery Rate: a Practical and Powerful Approach to Multiple Testing. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological), 57*, 289-300.
- Blasi, G., Goldberg, T. E., Weickert, T., Das, S., Kohn, P., Zolnick, B. et al. (2006). Brain regions underlying response inhibition and interference monitoring and suppression. *European Journal of Neuroscience, 23*, 1658-1664.
- Blum, S., Hebert, A. E., & Dash, P. K. (2006). A role for the prefrontal cortex in recall of recent and remote memories. *Neuroreport, 17*, 341-344.
- Blumenfeld, R. S. & Ranganath, C. (2006). Dorsolateral Prefrontal Cortex Promotes Long-Term Memory Formation through Its Role in Working Memory Organization. *The Journal of Neuroscience, 26*, 916-925.
- Borkowska, A., Wilkosc, M., Tomaszewska, M., & Rybakowski, J. (2006). Working memory: neuropsychological and neurobiological issues. *Psychiatria Polska, 40*, 383-399.
- Brewin, C. R. & Beaton, A. (2002). Thought suppression, intelligence, and working memory capacity. *Behaviour Research and Therapy, 40*, 923-930.

- Brewin, C. R. & Smart, L. (2005). Working memory capacity and suppression of intrusive thoughts. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 36, 61-68.
- Buckner, R. L. (2003). Functional-anatomic correlates of control processes in memory. *The Journal of Neuroscience*, 23, 3999-4004.
- Bugg, J. M., DeLosh, E. L., Davalos, D. B., & Davis, H. P. (2007). Age differences in Stroop interference: contributions of general slowing and task specific deficits. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 14, 155-167.
- Bugg, J. M., Zook, N. A., DeLosh, E. L., Davalos, D. B., & Davis, H. P. (2006). Age differences in fluid intelligence: contributions of general slowing and frontal decline. *Brain and Cognition*, 62, 9-16.
- Bulevich, J. B., Roediger, H. L., Balota, D. A., & Butler, A. C. (2006). Failures to find suppression of episodic memories in the think/no-think paradigm. *Memory & Cognition*, 34, 1569-1577.
- Butler, K. M. & Zacks, R. T. (2006). Age Deficits in the Control of Prepotent Responses: Evidence for an Inhibitory Decline. *Psychology and Aging*, 21, 638-643.
- Cabeza, R. (2002). Hemispheric Asymmetry Reduction in Older Adults: The HAROLD Model. *Psychology and Aging*, 17, 85-100.
- Cabeza, R., Anderson, N. D., Houle, S., Mangels, J. A., & Nyberg, L. (2000). Age-Related Differences in Neural Activity during Item and Temporal-Order Memory Retrieval: A Positron Emission Tomography Study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 197-206.
- Cabeza, R., Anderson, N. D., Locantore, J. K., & McIntosh, A. R. (2002). Aging Gracefully: Compensatory Brain Activity in High-Performing Older Adults. *Neuroimage*, 17, 1394-1402.
- Cabeza, R., Dolcos, F., Prince, S. E., Rice, H. J., Weissman, D. H., & Nyberg, L. (2003a). Attention-related activity during episodic memory retrieval: a cross-function fMRI study. *Neuropsychologia*, 41, 390-399.
- Cabeza, R., Grady, C. L., Nyberg, L., McIntosh, A. R., Tulving, E., Kapur, S. et al. (1997). Age-Related Differences in Neural Activity during Memory Encoding and Retrieval: A Positron Emission Tomography Study. *The Journal of Neuroscience*, 17, 391-400.
- Cabeza, R., Locantore, J. K., & Anderson, N. D. (2003b). Lateralization of prefrontal activity during episodic memory retrieval: evidence for the production-monitoring hypothesis. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15, 249-259.
- Cabeza, R. & Nyberg, L. (2000). Imaging Cognition II: An Empirical Review of 275 PET and fMRI Studies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 1-47.
- Casey, B. J., Trainor, R. J., Orendi, J. L., Schubert, A. B., Nystrom, L. E., Giedd, J. N. et al. (1997). A developmental functional MRI study of prefrontal activation during performance of a go-no-go task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9, 835-847.
- Chapman, L. J. & Chapman, J. P. (1987). The Measurement of Handedness. *Brain and Cognition*, 6, 175-183.
- Cheavens, J. S., Rosenthal, M. Z., Daughters, S. B., Nowak, J., Kosson, D., Lynch, T. R. et al. (2005). An analogue investigation of the relationships among perceived parental criticism, negative affect, and borderline personality disorder features: the role of thought suppression. *Behavior Research and Therapy*, 43, 257-268.
- Cohen, J. D., Forman, S. D., Braver, T. S., Casey, B. J., Servan-Schreiber, D., & Noll, D. C. (1994). Activation of prefrontal cortex in a nonspatial working memory task with functional MRI. *Human Brain Mapping*, 1, 293-304.
- Comer, R. (2001). *Klinische Psychologie*. (2 ed.) Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

- Conway, M. A. (2001). Cognitive neuroscience: Repression revisited. *Nature*, *410*, 319-320.
- Craik, F. I. & Bialystok, E. (2006). Cognition through the lifespan: mechanisms of change. *Trends in Cognitive Sciences*, *10*, 131-138.
- Cronel-Ohayon, S., Zesiger, P., Davidoff, V., Boni, A., Roulet, E., & Deonna, T. (2006). Deficit in memory consolidation (abnormal forgetting rate) in childhood temporal lobe epilepsy. Pre and postoperative long-term observation. *Neuropediatrics*, *37*, 317-324.
- De Frias, C. M., Dixon, R. A., & Strauss, E. (2006). Structure of Four Executive Functioning Tests in Healthy Older Adults. *Neuropsychology*, *20*, 206-214.
- Dempster, F. (1992). The Rise and Fall of the Inhibitory Mechanism: Toward a Unified Theory of Cognitive Development and Aging. *Developmental Review*, *12*, 45-75.
- Depue, B. E., Banich, M. T., & Curran, T. (2006). Suppression of Emotional and Nonemotional Content of Memory. *Psychological Science*, *17*, 441-447.
- Derryberry, D. & Tucker, D. M. (1994). Motivating the focus of attention. In P. Niedenthal & S. Kitayama (Eds.), *The heart's eye: Emotional influence on perception and attention* (pp. 167-196). New York: Academic Press.
- Desgranges, B., Baron, J. C., & Eustache, F. (1998). The Functional Neuroanatomy of Episodic Memory: The Role of the Frontal Lobes, the Hippocampal Formation, and Other Areas. *Neuroimage*, *8*, 198-213.
- Desmond, J. E. & Glover, G. H. (2002). Estimating sample size in functional MRI (fMRI) neuroimaging studies: Statistical power analyses. *Journal of Neuroscience Methods*, *118*, 115-128.
- Dobbins, I. G., Foley, H., Schacter, D. L., & Wagner, A. D. (2002). Executive Control during Episodic Retrieval: Multiple Prefrontal Processes Subserve Source Memory. *Neuron*, *35*, 989-996.
- Dobbins, I. G., Rice, H. J., Wagner, A. D., & Schacter, D. L. (2003). Memory orientation and success: separable neurocognitive components underlying episodic recognition. *Neuropsychologia*, *41*, 318-333.
- Dolan, R. J. & Fletcher, P. C. (1997). Dissociating prefrontal and hippocampal function in episodic memory encoding. *Nature*, *388*, 582-585.
- Dolan, R. J. & Fletcher, P. F. (1999). Encoding and Retrieval in Human Medial Temporal Lobes: An Empirical Investigation Using Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI). *Hippocampus*, *9*, 25-34.
- Duncan, J. & Owen, A. M. (2000). Common regions of the human frontal lobe recruited by diverse cognitive demands. *Trends in Neuroscience*, *23*, 475-483.
- Earles, J. L. K., Smith, A. D., & Park, D. C. (1996). Adult age differences in the effects of environmental context on memory performance. *Experimental Aging Research*, *22*, 267-280.
- Eenshuistra, R. M., Ridderinkhof, K. R., & Molen, M. W. v. d. (2004). Age-related changes in antisaccade task performance: Inhibitory control or working-memory engagement? *Brain and Cognition*, *56*, 177-188.
- Eichenbaum, H., Schoenbaum, G., Young, B., & Bunsey, M. (1996). Functional organization of the hippocampal memory system. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *93*, 13500-13507.
- Everling, S. & Fischer, B. (1998). The antisaccade: a review of basic research and clinical studies. *Neuropsychologia*, *36*, 885-899.
- Fast, K. & Engel, R. (2007). *Halstead Category Test, HCT*. Göttingen: Hogrefe Verlag.

- Fernández, G., Weyerts, H., Schrader-Bölsche, M., Tendolkar, I., Smid, H. G., Tempelmann, C. et al. (1998). Successful Verbal Encoding into Episodic Memory Engages the Posterior Hippocampus: A Parametrically Analyzed Functional Magnetic Resonance Imaging Study. *The Journal of Neuroscience*, *18*, 1841-1847.
- Fink, G. R., Markowitsch, H. J., Reinkemeier, M., Bruckbauer, T., Kessler, J., & Heiss, W. D. (1996). Cerebral Representation of One's Own Past: Neural Networks Involved in Autobiographical Memory. *The Journal of Neuroscience*, *16*, 4275-4282.
- Fletcher, P. C., Frith, C. D., Grasby, P., Shallice, T., Frackowiak, R. S. J., & Dolan, R. J. (1995). Brain systems for encoding and retrieval of auditory-verbal memory, An *in vivo* study in humans. *Brain*, *118*, 401-416.
- Fletcher, P. C. & Henson, R. N. A. (2001). Frontal lobes and human memory - Insight from functional neuroimaging. *Brain*, *124*, 849-881.
- Fletcher, P. C., Shallice, T., & Dolan, R. J. (1998a). The functional roles of prefrontal cortex in episodic memory, I. Encoding. *Brain*, *121*, 1239-1248.
- Fletcher, P. C., Shallice, T., & Dolan, R. J. (2000). "Sculpting the Response Space" - An Account of Left Prefrontal Activation at Encoding. *Neuroimage*, *12*, 404-417.
- Fletcher, P. C., Shallice, T., Frith, C. D., Frackowiak, R. S. J., & Dolan, R. J. (1998b). The functional roles of prefrontal cortex in episodic memory, II. Retrieval. *Brain*, *121*, 1249-1256.
- Flynn, F. G., Benson, D. F., & Ardilas, A. (1999). Anatomy of the insula - functional and clinical correlates. *Aphasiology*, *13*, 55-78.
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). *MMST Mini-Mental-State-Test*. Weinheim: Beltz.
- Freud, S. (1966). In J.Strachey (Ed.), *The Standard Edition of the Complete Psychological Work of Sigmund Freud I* (pp. 117-128). London: Hogarth.
- Friedman, D., Nessler, D., & Johnson, R. jr. (2007). Memory encoding and retrieval in the aging brain. *Clinical EEG and neuroscience*, *38*, 2-7.
- Friedman, N. P., Miyake, A., Corley, R. P., Young, S. E., DeFries, J. C., & Hewitt, J. K. (2006). Not All Executive Functions Are Related to Intelligence. *Psychological Science*, *17*, 172-179.
- Garavan, H., Ross, T. J., & Stein, E. A. (1999). Right hemispheric dominance of inhibitory control: An event-related functional fMRI study. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *96*, 8301-8306.
- Gazzaley, A., Cooney, J. W., Rissman, J., & D'Esposito, M. (2005). Top-down suppression deficit underlies working memory impairment in normal aging. *Nature Neuroscience*, *8*, 1298-1300.
- Gertz, S. D. (2003). *Basiswissen Neuroanatomie*. (4 ed.) Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Goebel, R. (2006). *Brain Voyager QX (Version 2.2)*. [Computer software and manual]. Maastricht, The Netherlands: Brain Innovation B.V.
- Grady, C. L., McIntosh, A. R., & Craik, F. I. (2005). Task-related activity in prefrontal cortex and its relation to recognition memory performance in young and old adults. *Neuropsychologia*, *43*, 1466-1481.
- Grady, C. L., McIntosh, A. R., Rajah, M. N., Beig, S., & Craik, F. I. (1999). The Effects of Age on the Neural Correlates of Episodic Encoding. *Cerebral Cortex*, *9*, 805-814.
- Hager, W. & Hasselhorn, M. (1994). *Handbuch deutschsprachiger Wortnormen*. Göttingen: Hogrefe-Verlag.
- Halstead, W. C. (1947). *Brain and Intelligence*. Chicago: University of Chicago Press.

- Harnishfeger, K. K. (1995). The Development of Cognitive Inhibition: Theories, Definitions, and Research Evidence. In F.N.Dempster & C. J. Brainerd (Eds.), *Interference and Inhibition in Cognition* (pp. 176-206). San Diego: Academic Press.
- Härtig, C., Markowitsch, H. J., Neufeld, H., Calabrese, P., Deisinger, K., & Kessler, J. (2000). *WMS-R. Wechsler Gedächtnis Test - Revidierte Fassung. Deutsche Adaptation der revidierten Fassung der Wechsler-Memory-Scale*. Göttingen: Hogrefe.
- Hasher, L., Stoltzfus, E. R., Zacks, R. T., & Rypma, B. (1991). Age and Inhibition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, *17*, 163-169.
- Hasselhorn, M. & Behrendt, J. (2003). Von der Gnade des Vergessens. *Georgia Augusta*, *2*, 137-142.
- Henke, K., Weber, B., Kneifel, S., Wieser, H. G., & Buck, A. (1999). Human hippocampus associates information in memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *96*, 5884-5889.
- Hertel, P. T. & Calcaterra, G. (2005). Intentional Forgetting Benefits From Thought Substitution. *Psychonomic Bulletin & Review*, *12*, 484-489.
- Hertel, P. T. & Gerstle, M. (2003). Depressive deficits in forgetting. *Psychological Science*, *14*, 573-578.
- Iidaka, T., Sadato, N., Yamada, H., & Yonekura, Y. (2000). Functional asymmetry of human prefrontal cortex in verbal and non-verbal episodic memory as revealed by fMRI. *Cognitive Brain Research*, *9*, 73-83.
- Jacoby, L. L. & Witherspoon, D. (1982). Remembering without awareness. *Canadian Journal of Psychology*, *36*, 300-324.
- Kane, M. J., Hasher, L., Stoltzfus, E. R., Zacks, R. T., & Connelly, S. L. (1994). Inhibitory Attentional Mechanisms and Aging. *Psychology and Aging*, *9*, 103-112.
- Kauffmann, G.W., Moser, E. & Sauer, R. (2001). *Radiologie*. München: Urban & Fischer.
- Kelley, W. M., Miezin, F. M., McDermott, K. B., Buckner, R. L., Raichle, M. E., Cohen, N. J. et al. (1998). Hemispheric Specialization in Human Dorsal Frontal Cortex and Medial Temporal Lobe for Verbal and Nonverbal Memory Encoding. *Neuron*, *20*, 927-936.
- Kessels, R. P., Hobbel, D., & Postma, A. (2007). Aging, context memory and binding: a comparison of "what, where and when" in young and older adults. *International Journal of Neuroscience*, *117*, 795-810.
- Kihlstrom, J. F. (2002). No need for repression. *Trends in Cognitive Sciences*, *6*, 502.
- Langley, L. K. & Madden, D. J. (2000). Functional Neuroimaging of Memory: Implications for Cognitive Aging. *Microscopy Research and Technique*, *51*, 75-84.
- Laux, L., Glanzmann, P., Schaffner, P., & Spielberger, C. D. (1981). *State-Trait-Angstinventar (STAI)*. Weinheim: Beltz.
- Lee, A. C. H., Robbins, T. W., & Owen, A. M. (2000). Episodic Memory Meets Working Memory in the Frontal Lobe: Functional Neuroimaging Studies of Encoding and Retrieval. *Critical Reviews in Neurobiology*, *14*, 165-197.
- Lepage, M., Habib, R., & Tulving, E. (1998). Hippocampal PET Activations of Memory Encoding and Retrieval: The HIPER Model. *Hippocampus*, *8*, 313-322.
- Lévesque, J., Eugène, F., Joannette, Y., Paquette, V., Mensour, B., Beaudoin, G. et al. (2003). Neural Circuitry Underlying Voluntary Suppression of Sadness. *Biological Psychiatry*, *53*, 502-510.
- Levine, B., Svoboda, E., Hay, J. F., Winocur, G., & Moscovitch, M. (2002). Aging and Autobiographical Memory: Dissociating Episodic From Semantic Retrieval. *Psychology and Aging*, *17*, 677-689.

- Levy, B. J. & Anderson, M. C. (2002). Inhibitory processes and the control of memory retrieval. *Trends in Cognitive Sciences*, 6, 299-305.
- Lezak, M. D., Howieson, D. B., & Loring, D. W. (2004). *Neuropsychological Assessment*. Oxford: University Press.
- Loewen, E. R., Shaw, R. J., & Craik, F. I. (1990). Age differences in components of metamemory. *Experimental Aging Research*, 16, 43-48.
- Lorenz, J., Minoshima, S., & Casey, K. L. (2003). Keeping pain out of mind: the role of the prefrontal cortex in pain modulation. *Brain*, 126, 1079-1091.
- Lupien, S. J., Evans, A., Lord, C., Miles, J., Pruessner, M., Pike, B. et al. (2007). Hippocampal volume is a variable in young as in older adults: Implications for the notion of hippocampal atrophy in humans. *Neuroimage*, 34, 479-485.
- MacPherson, S. E., Phillips, L. H., & Della Sala, S. (2002). Age, Executive Function, and Social Decision Making: A Dorsolateral Prefrontal Theory of Cognitive Aging. *Psychology and Aging*, 17, 598-609.
- Markowitsch, H. J. (1999). *Gedächtnisstörungen*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Martin, S., Brouillet, D., Guerdoux, E., & Tarrago, R. (2006). Inhibition and resource capacity during normal aging: a confrontation of the dorsal-ventral and frontal models in a modified version of negative priming. *Encephale*, 32, 253-262.
- Mather, M. & Carstensen, L. L. (2005). Aging and motivated cognition: the positivity effect in attention and memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 496-502.
- Mather, M. & Knight, M. (2005). Goal-directed memory: the role of cognitive control in older adult's emotional memory. *Psychology and Aging*, 20, 554-570.
- McConnell, K. A., Bohning, D. E., Nahas, Z., Shastri, A., Teneback, C., Lorberbaum, J. P. et al. (2003). BOLD fMRI response to direct stimulation (transcranial magnetic stimulation) of the motor cortex shows no decline with age. *Journal of Neural Transmission*, 110, 495-507.
- Mehagnoul-Schipper, D. J., van der Kallen, B. F. W., Colier, W. N. J. M., van der Sluijs, M. C., van Erning, L. J. T. O., Thijssen, H. O. M. et al. (2002). Simultaneous Measurements of Cerebral Oxygenation Changes During Brain Activation by Near-Infrared Spectroscopy and Functional Magnetic Resonance Imaging in Healthy Young and Elderly Subjects. *Human Brain Mapping*, 16, 14-23.
- Meltzer, J. A. & Constable, R. T. (2005). Activation of human hippocampal formation reflects success in both encoding and cued recall paired associates. *Neuroimage*, 24, 384-397.
- Mielke, R., Kessler, J., Szelies, B., Herholz, K., Wienhard, K., & Heiss, W. D. (1998). Normal and pathological aging - findings of positron-emission-tomography. *Journal of Neural Transmission*, 105, 821-837.
- Miller, E. K. & Cohen, J. D. (2001). An Integrative Theory of Prefrontal Cortex Function. *Annual Review of Neuroscience*, 24, 167-202.
- Miller, G. (2004). Learning to Forget. *Science*, 304, 34-36.
- Moscovitch, M., Nadel, L., Winocur, G., Gilboa, A., & Rosenbaum, R. S. (2006). The cognitive neuroscience of remote episodic, semantic and spatial memory. *Current Opinion in Neurobiology*, 16, 179-190.
- Moscovitch, M. & Winocur, G. (1992). The Neuropsychology of Memory and Aging. In F.I.Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *The Handbook of Aging and Cognition* (pp. 315-372). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Muris, P., Merckelbach, H., & Horselenberg, R. (1996). Individual differences in thought suppression. The White Bear Suppression Inventory: Factor structure, reliability, validity and correlates. *Behavior Research and Therapy*, 34, 501-513.



- Narayanan, N. S., Prabhakaran, V., Bunge, S. A., Christoff, K., Fine, E. M., & Gabrieli, J. D. E. (2005). The Role of the Prefrontal Cortex in the Maintenance of Verbal Working Memory: An Event-Related fMRI Analysis. *Neuropsychology, 19*, 223-232.
- Naveh-Benjamin, M., Hussain, Z., Guez, J., & Bar-On, M. (2003). Adult Age Differences in Episodic Memory: Further Support for an Associative-Deficit Hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 29*, 826-837.
- Nessler, D., Friedman, D., Johnson, R. jr., & Bersick, M. (2006). ERPs suggest that age affects cognitive control but not response conflict detection. *Neurobiology of Aging*, doi: 10.1016/j.neurobiolaging.2006.07.011.
- Neurobehavioral Systems (2005). Presentation (Version 0.80). [Computer software and manual]. Albany, CA: Neurobehavioral Systems, Inc.
- Nielson, K. A., Langenecker, S. A., & Garavan, H. (2002). Differences in the Functional Neuroanatomy of Inhibitory Control Across the Adult Life Span. *Psychology and Aging, 17*, 56-71.
- Nielson, K. A., Langenecker, S. A., Ross, T. J., Garavan, H., Rao, S. M., & Stein, E. A. (2004). Comparability of functional MRI response in young and old during inhibition. *Neuroreport, 15*, 129-133.
- Nyberg, L., Forkstam, C., Petersson, K. M., Cabeza, R., & Ingvar, M. (2002). Brain imaging of human memory systems: between-systems similarities and within-systems differences. *Cognitive Brain Research, 13*, 281-292.
- Nyberg, L., Marklund, P., Persson, J., Cabeza, R., Forkstam, C., Petersson, K. M. et al. (2003). Common prefrontal activations during working memory, episodic memory, and semantic memory. *Neuropsychologia, 41*, 371-377.
- Nyberg, L. & Tulving, E. (1996). Classifying Human Long-term Memory: Evidence from Converging Dissociations. *European Journal of Cognitive Psychology, 8*, 163-183.
- Ochsner, K. N. & Gross, J. J. (2005). The cognitive control of emotions. *Trends in Cognitive Sciences, 9*, 242-249.
- Parkin, A. J., Walter, B. M., & Hunkin, N. M. (1995). Relationships Between Normal Aging, Frontal Lobe Function, and Memory for Temporal and Spatial Information. *Neuropsychology, 9*, 304-312.
- Pasqual-Marqui, R. D., Michel, C. M., & Lehmann, D. (1994). Low resolution electromagnetic tomography: a new method for localizing activity in the brain. *International Journal of Psychophysiology, 18*, 49-65.
- Piefke, M., Weiss, P. H., Zilles, K., Markowitsch, H. J., & Fink, G. R. (2003). Differential remoteness and emotional tone modulate the neural correlates of autobiographical memory. *Brain, 126*, 650-668.
- Piolino, P., Desgranges, B., Benali, K., & Eustache, F. (2002). Episodic and semantic remote autobiographical memory in ageing. *Memory, 10*, 239-257.
- Prabhakaran, V., Narayanan, K., Zhao, Z., & Gabrieli, J. D. (2000). Integration of diverse information in working memory within the frontal lobe. *Nature Neuroscience, 3*, 85-90.
- Purdon, C. (1999). Thought suppression and psychopathology. *Behavior Research and Therapy, 37*, 1029-1054.
- Purdon, C., Rowa, K., & Antony, M. M. (2005). Thought suppression and its effects on thought frequency, appraisal and mood state in individuals with obsessive-compulsive disorder. *Behavior Research and Therapy, 43*, 93-108.
- Raemaekers, M., Vink, M., van den Heuvel, M. P., Kahn, R. S., & Ramsey, N. F. (2006). Effects of Aging on BOLD fMRI during Prosaccades and Antisaccades. *Journal of Cognitive Neuroscience, 18*, 594-603.
- Rajah, M. N. & D'Esposito, M. (2005). Region-specific changes in prefrontal function with age: a review of PET and fMRI studies on working and episodic memory. *Brain, 128*, 1964-1983.

- Ramautar, J. R., Slagter, H. A., Kok, A., & Ridderinkhof, K. R. (2006). Probability effects in the stop-signal paradigm: The insula and the significance of failed inhibition. *Brain Research, 1105*, 143-154.
- Rand-Giovannetti, E., Chua, E. F., Driscoll, A. E., Schacter, D. L., Albert, M. S., & Sperling, R. A. (2006). Hippocampal and neocortical activation during repetitive encoding in older persons. *Neurobiology of Aging, 27*, 173-182.
- Ranganath, C., Johnson, M. K., & D'Esposito, M. (2003). Prefrontal activity associated with working memory and episodic long-term memory. *Neuropsychologia, 41*, 378-389.
- Rassin, E., Brakel, A. v., & Diederer, E. (2003). Suppressing unwanted memories: where there is a will, there is a way? *Behaviour Research and Therapy, 41*, 727-736.
- Rassin, E., Merckelbach, H., & Muris, P. (2000). Paradoxical and less paradoxical effects of thought suppression: a critical review. *Clinical Psychology Review, 20*, 973-995.
- Raz, N., Gunning-Dixon, F. M., Head, D., Dupuis, J. H., & Acker, J. D. (1998). Neuroanatomical Correlates of Cognitive Aging: Evidence From Structural Magnetic Resonance Imaging. *Neuropsychology, 12*, 95-114.
- Reitan, R. M. (1986). *Manual for administration of neuropsychological test batteries for adults and children*. Reitan Neuropsychological Laboratory, Tucson: AZ.
- Ritchie, K., Touchon, J., Ledesert, B., Leibovici, D., & Gorce, A. M. (1997). Establishing the limits and characteristics of normal age-related cognitive decline. *Revue d'epidemiologie et de sante publique, 45*, 373-381.
- Roediger, H. L. (1990). Implicit memory: A commentary. *Bulletin of the Psychonomic Society, 28*, 373-380.
- Rombouts, S. A., Goekoop, R., Stam, C. J., Barkhof, F., & Scheltens, P. (2005). Delayed rather than decreased BOLD response as a marker for early Alzheimer's disease. *Neuroimage, 26*, 1078-1085.
- Rosen, A. C., Gabrieli, J. D., Stoub, T., Prull, M. W., O'Hara, R., Yesavage, J. et al. (2005). Relating medial temporal lobe volume to frontal fMRI activation for memory encoding in older adults. *Cortex, 41*, 595-602.
- Rosenthal, M. Z., Cheavens, J. S., Compton, J. S., Thorp, S. R., & Lynch, T. R. (2005a). Thought suppression and treatment outcome in late-life depression. *Aging & Mental Health, 9*, 35-39.
- Rosenthal, M. Z., Cheavens, J. S., Lejuez, C. W., & Lynch, T. R. (2005b). Thought suppression mediates the relationship between negative affect and borderline personality disorder symptoms. *Behavior Research and Therapy, 43*, 1173-1185.
- Royall, D. R., Palmer, R., Chiodo, L. K., & Polk, M. J. (2004). Declining Executive Control in Normal Aging Predicts Change in Functional Status: the Freedom House Study. *Journal of the American Geriatrics Society, 52*, 346-352.
- Rypma, B. & D'Esposito, M. (2003). A subsequent-memory effect in dorsolateral prefrontal cortex. *Cognitive Brain Research, 16*, 162-166.
- Sarinopoulos, I., Dixon, G. E., Short, S. J., Davidson, R. J., & Nitschke, J. B. (2006). Brain mechanisms of expectation associated with insula and amygdala response to aversive taste: Implications for placebo. *Brain, Behavior, and Immunity, 20*, 120-132.
- Schacter, D. L. (2001). Suppression of unwanted memories: repression revisited? *Lancet, 357*, 1724-1725.
- Schmidt, K. H. & Metzler, P. (1992). *Wortschatztest (WST)*. Weinheim: Beltz.
- Schwibbe, M., Räder, K., Schwibbe, G., Borchardt, M., & Geiken-Pophanken, G. (1981). Zum emotionalen Gehalt von Substantiven, Adjektiven und Verben. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie, 28*, 486-501.

- Shallice, T., Fletcher, P. C., Frith, C. D., Grasby, P., Frackowiak, R. S. J., & Dolan, R. J. (1994). Brain regions associated with acquisition and retrieval of verbal episodic memory. *Nature*, *368*, 633-635.
- Smith, A. D., Park, D. C., Earles, J. L. K., Shaw, R. J., & Whiting, W. L. 4. (1998). Age Differences in Context Integration in Memory. *Psychology and Aging*, *13*, 21-28.
- Souchay, C. & Isingrini, M. (2004). Age related differences in metacognitive control: Role of executive functioning. *Brain and Cognition*, *56*, 89-99.
- SPSS Inc. (2005). SPSS (R). [Computer software]. Chicago: SPSS inc.
- Statistisches Bundesamt (2007). *11. Koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung*. Retrieved May 3, 2007, from <http://www.destatis.de/bevoelkerung2050>.
- Stawski, R. S., Sliwinski, M. J., & Smyth, J. M. (2006). Stress-Related Cognitive Interference predicts Cognitive Function in Old Age. *Psychology and Aging*, *21*, 535-544.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology, General*, *18*, 643-662.
- Sutherland, R. J., Lehmann, H., Spanswick, S. C., Sparks, F. T., & Melvin, N. R. (2006). Growth points in research on memory and hippocampus. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *60*, 166-174.
- Sweeney, J. A., Rosano, C., Berman, R. A., & Luna, B. (2001). Inhibitory control of attention declines more than working memory during normal aging. *Neurobiology of Aging*, *22*, 39-47.
- Sylvester, C.-Y. C., Wager, T. D., Lacey, S. C., Hernandez, L., Nichols, T. E., Smith, E. E. et al. (2003). Switching attention and resolving interference: fMRI measures of executive functions. *Neuropsychologia*, *41*, 357-370.
- Talairach, J. & Tournoux, P. (1988). *Co-Planar Stereotaxic Atlas of the Human Brain*. Stuttgart: Thieme.
- Tewes, U. (1991). *Hamburg-Wechsler-Intelligenztest für Erwachsene Revision*. Bern, Stuttgart, Toronto: Verlag Hans Huber.
- Thirion, B., Pinel, P., Mériaux, S., Roche, A., Dehaene, S., & Poline, J.-B. (2007). Analysis of a large fMRI cohort: Statistical and methodological issues for group analyses. *Neuroimage*, *35*, 105-120.
- Tisserand, D. J. & Jolles, J. (2003). On the involvement of prefrontal networks in cognitive ageing. *Cortex*, *39*, 1107-1128.
- Troyer, A. K., Leach, L., & Strauss, E. (2006). Aging and Response Inhibition: Normative Data for the Victoria Stroop Test. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, *13*, 20-35.
- Tulving, E. (1995). Organization of memory: Quo vadis? In Gazzaniga (Ed.), *The Cognitive Neurosciences* (pp. 839-847). Massachusetts: MIT Press.
- Tulving, E., Kapur, S., Craik, F. I., Moscovitch, M., & Houle, S. (1994). Hemispheric encoding/retrieval asymmetry in episodic memory: Positron emission tomography findings. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *91*, 2016-2020.
- Universität Leipzig (2005). *Wortschatz Uni-Leipzig*. Retrieved July 18, 2005, from <http://wortschatz.uni-leipzig.de>.
- Uttl, B. & Van Alstine, C. L. (2003). Rising Verbal Intelligence Scores: Implications for Research and Clinical Practice. *Psychology and Aging*, *18*, 616-621.
- Valeriani, M., Ranghi, F., & Giaquinto, S. (2003). The effects of aging on selective attention to touch: a reduced inhibitory control in elderly subjects? *International Journal of Psychophysiology*, *49*, 75-87.

- 
- van Petten, C. (2004). Relationship between hippocampal volume and memory ability in healthy individuals across the lifespan: review and meta-analysis. *Neuropsychologia*, *42*, 1394-1413.
- Verhaegen, P. & Cerella, J. (2002). Aging, executive control, and attention: a review of meta-analyses. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *26*, 849-857.
- Wechsler, D. (1997). *Wechsler Adult Intelligence Scale (3rd. ed.)*. San Antonio, TX: Psychological Corporation.
- Wedig, M. M., Rauch, S. L., Albert, M. S., & Wright, C. I. (2005). Differential amygdala habituation to neutral faces in young and elderly subjects. *Neuroscience Letters*, *385*, 114-119.
- Wegner, D. M. & Zanakos, S. (1994). Chronic Thought Suppression. *Journal of Personality*, *62*, 615-640.
- Wenzlaff, R. M. & Wegner, D. M. (2000). Thought Suppression. *Annual Review of Psychology*, *51*, 59-91.
- Wessel, I., Wetzels, S., Jelicic, M., & Merckelbach, H. (2005). Dissociation and memory suppression: A comparison of high and low dissociative individual's performance on the Think-No Think task. *Personality and Individual Differences*, *39*, 1461-1470.
- West, R. L. (1996). An Application of Prefrontal Cortex Function Theory to Cognitive Aging. *Psychological Bulletin*, *120*, 272-292.
- Wieselberg, L. (2005). *Verdrängung erstmals neurobiologisch bewiesen*. Retrieved September 20, 2005, from <http://science.orf.at/science/news/100719>.
- Wieser, S. & Wieser, H. G. (2003). Event-related brain potentials in memory: correlates of episodic, semantic and implicit memory. *Clinical Neurophysiology*, *114*, 1144-1152.
- Wittchen, H.-U., Zaudig, M., & Fydrich, T. (1997). *Strukturiertes Klinisches Interview für DSM-IV (SKID-I und SKID-II)*. Göttingen: Hogrefe.
- Wright, C. I., Wedig, M. M., Williams, D., Rauch, S. L., & Albert, M. S. (2006). Novel fearful faces activate the amygdala in healthy young and elderly subjects. *Neurobiology of Aging*, *27*, 361-374.
- Wyland, C. L., Kelley, W. M., Macrae, C. N., Gordon, H. L., & Heatherton, T. F. (2003). Neural correlates of thought suppression. *Neuropsychologia*, *41*, 1863-1867.
- Zacks, R. T., Radvansky, G., & Hasher, L. (1996). Studies of Directed Forgetting in Older Adults. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, *22*, 143-156.
- Zarahn, E., Rakitin, B., Abela, D., Flynn, J., & Stern, Y. (2007). Age-related changes in brain activation during a delayed item recognition task. *Neurobiology of Aging*, *28*, 784-798.
- Zimmermann, P. & Fimm, B. (2002). *Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung*. Herzogenrath: Vera Fimm, Psychologische Testsysteme.

## VI. Anhänge

**Anhang A: Tabellen und Formeln**Tabelle 20: Liste der 36 Wortpaare aus dem *think/no-think* Paradigma

Wort	Bil	Kon	Bed	Val	Pot	Err	Silben	Buchst	Häuf
Prüfung	11,73	1,60	4,20	-5,47	2,80	6,87	2	7	10
Ruhm	2,40	-8,67	0,00	1,33	3,40	-0,33	1	4	11
Umgang	-7,47	-6,47	-10,87	-0,20	-1,93	-1,00	2	6	9
Prädikat	-7,73	-4,67	-8,67	1,53	-0,20	-1,73	3	8	13
Wettbewerb	6,40	1,20	-0,27	-3,07	1,67	6,47	3	10	9
Zufall	-5,60	-8,27	-8,40	1,00	-1,87	2,53	2	6	10
Traum	10,67	-0,60	4,20	6,93	-1,73	-0,20	1	5	9
Fortdauer	-6,67	-6,47	-10,40	1,67	-0,27	-3,27	3	9	15
Vollmacht	-3,47	-2,20	-9,87	-0,40	5,33	-2,27	2	9	14
Bündnis	2,67	-0,80	-5,40	3,53	4,53	-3,07	2	7	10
Ahnung	-3,47	-7,27	-8,13	3,73	1,87	3,00	2	6	12
Überlegung	-4,53	-6,07	-7,40	4,93	1,13	-2,27	4	10	12
Aufwand	-2,13	-3,47	-9,87	-2,47	0,13	0,80	2	7	10
Hinblick	-9,60	-6,27	-14,60	0,13	-2,40	-1,73	2	8	13
Jahreszeit	9,87	2,40	5,93	3,27	-0,60	-1,80	3	10	12
Verstand	0,00	-8,27	-0,47	7,47	6,20	-0,87	2	8	11
Argument	-5,60	-4,27	-5,67	5,67	6,60	1,67	3	8	10
Eindruck	-3,20	-6,27	-7,93	3,20	1,67	1,13	2	8	9
Gruppe	8,80	4,47	0,27	5,53	4,13	2,20	2	6	8
Absprache	-2,13	1,80	-9,60	4,33	3,33	-0,40	3	9	12
Dimension	-3,73	-10,13	-7,13	-0,07	0,87	-1,67	3	9	11
Sport	12,00	3,67	9,13	5,80	4,53	6,60	1	5	9
Machwerk	-8,00	-4,27	-10,87	-7,00	-3,13	1,00	2	8	15
Auftakt	-5,87	-1,20	-10,87	2,13	2,07	2,80	2	7	10
Irrtum	-1,87	-3,67	-4,93	-5,07	-3,93	3,80	2	6	12
Anteil	-0,80	1,60	-8,73	1,73	-2,60	-2,53	2	6	9
Empfehlung	-6,40	-3,00	-8,87	2,20	-1,53	-2,60	3	10	11
Änderung	-0,80	-0,80	-8,87	1,93	1,40	3,40	3	8	10
Bedeutung	-7,47	-7,27	-8,67	3,20	1,33	-1,60	3	9	8
Drama	7,47	1,20	0,27	-0,13	2,00	3,93	2	5	11
Ereignis	-1,60	-0,60	-7,13	2,27	1,27	3,93	3	8	10
Verzicht	-1,60	-3,00	-9,87	-4,73	-3,07	-0,40	2	8	10
Phase	-7,73	-3,33	-9,13	0,07	-2,00	-1,07	2	5	10
Eignung	-1,07	-5,87	-5,67	1,67	-0,80	-0,20	2	7	13
Epoche	-5,60	-3,67	-5,67	0,40	-0,60	-2,07	3	6	11
Makel	-5,07	-5,27	-11,33	-5,13	-4,93	1,00	2	5	13
Insekt	15,47	14,53	6,20	-4,07	-2,20	4,13	2	6	15
Bauch	13,33	14,53	3,47	-0,87	-4,80	-3,93	1	5	11
Berg	16,80	16,13	9,40	4,93	6,47	-5,73	1	4	10
Dampf	15,73	14,93	-1,27	-2,27	-1,00	0,60	1	5	13
Kirche	14,93	5,27	4,67	-2,53	-1,33	-4,93	2	6	8
Fleisch	16,27	15,13	7,40	4,60	0,80	0,07	1	7	10
Brett	16,00	17,00	2,73	-0,13	0,47	-2,93	1	5	12
Schmied	14,67	16,13	2,73	3,53	4,87	-1,20	1	7	13
See	16,80	16,80	11,13	6,80	1,67	-3,33	1	3	10
Puppe	14,67	15,13	3,47	1,47	-8,40	-4,87	2	5	13
Staub	13,07	16,33	0,27	-4,47	-7,27	-3,53	1	5	11
Stuhl	18,40	18,20	4,47	2,47	-2,07	-5,80	1	5	11
Stein	16,80	18,00	6,93	0,60	4,67	-7,20	1	5	10

Fortsetzung siehe nächste Seite

Tabelle 20: Fortsetzung

Wort	Bil	Kon	Bed	Val	Pot	Err	Silben	Buchst	Häuf
<i>Fahne</i>	17,33	15,93	3,73	-4,00	-2,93	-1,27	2	5	11
<i>Küche</i>	15,53	16,33	9,60	3,93	-1,47	-2,67	2	5	10
<i>Wohnung</i>	13,60	13,33	11,13	6,20	-0,93	-5,33	2	7	8
<i>Maler</i>	14,13	12,53	7,13	1,27	-2,13	-2,33	2	5	10
<i>Katze</i>	17,33	18,60	9,60	4,60	-1,87	1,67	2	5	11
<i>Doktor</i>	14,67	11,73	7,13	0,00	3,40	-3,13	2	6	10
<i>Hammer</i>	18,40	18,80	6,20	0,13	7,60	3,93	2	6	11
<i>Mädchen</i>	14,93	14,73	8,40	6,53	-3,00	5,60	2	7	8
<i>Tinte</i>	16,80	18,13	1,47	-0,07	-2,53	-2,53	2	5	13
<i>Blüte</i>	17,07	15,73	7,40	8,93	-2,53	-1,80	2	5	12
<i>Buch</i>	16,00	16,33	6,20	7,27	1,00	-3,07	1	4	8
<i>Hotel</i>	17,07	14,73	7,67	1,07	-1,53	-0,87	2	5	9
<i>Schüler</i>	13,60	13,73	6,20	2,33	-4,07	1,13	2	7	8
<i>Vogel</i>	16,00	15,73	8,40	5,13	-4,47	0,60	2	5	10
<i>Junge</i>	14,67	14,33	5,40	3,20	0,13	1,60	2	5	9
<i>Pferd</i>	17,87	18,60	11,33	5,27	4,67	4,07	1	5	10
<i>Metall</i>	14,13	13,93	3,93	0,60	6,33	-3,33	2	6	12
<i>Moor</i>	14,93	15,33	3,93	-1,13	-1,93	-6,87	1	4	13
<i>Markt</i>	12,27	9,87	8,40	3,53	0,87	2,67	1	5	8
<i>Gras</i>	16,00	17,00	6,67	6,00	-0,80	-4,00	1	4	11
<i>Schaum</i>	15,20	14,40	-1,00	1,00	-8,13	-2,27	1	6	14
<i>Sumpf</i>	15,20	14,93	3,47	-6,80	-3,53	-4,13	1	5	12
<i>Halle</i>	15,20	14,73	1,00	0,07	-0,40	-3,33	2	5	9

Anmerkungen: Die kursiv gedruckten Wörter sind die Zielwörter, die normal gedruckten die Schlüsselwörter, des Weiteren stehen die Farben für die verschiedenen Bedingungen (blau = Baseline; rot = Suppression; grün = Response).

Tabelle 21: Mittlere Parameterausprägung und Standardabweichung pro Wortart und die im t-Test ermittelten Mittelwertsunterschiede.

Parameter	Schlüsselwörter		Zielwörter		t	p
	M	SD	M	SD		
Bildhaftigkeit	-1,31	6,17	15,58	1,50	-15,96	≤ 0,001
Konkretheit	-3,17	3,80	15,21	2,58	-24,01	≤ 0,001
Bedeutungshaltigkeit	-5,87	5,54	5,69	3,30	-10,75	≤ 0,001
Valenz	1,16	3,60	1,81	3,70	-0,75	0,456
Potenz	0,69	2,91	-0,73	3,88	1,75	0,084
Erregung	0,56	2,82	-1,79	3,27	3,25	0,002
Silbenanzahl	2,31	0,67	1,53	0,51	5,57	≤ 0,001
Buchstabenanzahl	7,31	1,67	5,28	0,94	6,34	≤ 0,001
Häufigkeit im Deutschen	10,89	1,80	10,67	1,85	0,52	0,607

Anmerkungen: Wortart = Schlüssel- oder Zielwort, jeweils n = 36.

Tabelle 22: Mittlere Parameterausprägung und Standardabweichung pro Bedingung der Schlüsselwörter und die im t-Test ermittelten Mittelwertsunterschiede im paarweisen Vergleich.

Parameter	Baseline-Wörter		Suppressions-Wörter		Response-Wörter		t	p
	M	SD	M	SD	M	SD		
Bildhaftigkeit	-3,80	5,29	0,29	7,02	-0,42	5,79	B-S: -1,61 B-R: -1,49 S-R: 0,27	0,121 0,150 0,789
Konkretheit	-4,25	3,65	-2,40	4,11	-2,86	3,70	B-S: -1,17 B-R: -0,93 S-R: 0,29	0,256 0,364 0,775
Bedeutungshaltigkeit	-8,33	4,57	-4,03	6,76	-5,25	4,53	B-S: -1,83 B-R: -1,66 S-R: 0,52	0,083 0,112 0,608
Valenz	0,74	3,62	1,45	3,89	1,30	3,56	B-S: -0,46 B-R: -0,38 S-R: 0,09	0,652 0,706 0,927
Potenz	0,49	3,04	1,08	2,69	0,48	3,19	B-S: -0,50 B-R: 0,01 S-R: 0,50	0,623 0,993 0,625
Erregung	0,31	2,91	2,06	2,93	-0,70	2,01	B-S: -1,47 B-R: 0,99 S-R: 2,69	0,156 0,333 0,014
Silbenanzahl	2,58	0,67	2,25	0,62	2,08	0,67	B-S: 1,27 B-R: 1,83 S-R: 0,63	0,219 0,081 0,534
Buchstabenanzahl	7,92	1,56	7,25	1,82	6,75	1,55	B-S: 0,96 B-R: 1,84 S-R: 0,73	0,346 0,080 0,475
Häufigkeit im Deutschen	11,42	1,62	10,58	1,78	10,67	2,02	B-S: 1,20 B-R: 1,01 S-R: -0,11	0,244 0,326 0,916

Anmerkungen: Bedingung = Baseline (B), Suppression (S) und Response (R), jeweils n = 12.

Tabelle 23: Mittlere Parameterausprägung und Standardabweichung pro Bedingung der Zielwörter und die im t-Test ermittelten Mittelwertsunterschiede im paarweisen Vergleich

Parameter	Baseline-Wörter		Suppressions-Wörter		Response-Wörter		t	p
	M	SD	M	SD	M	SD		
Bildhaftigkeit	16,13	1,39	15,41	1,42	15,20	1,63	B-S: 1,27 B-R: 1,51 S-R: 0,33	0,216 0,146 0,747
Konkretheit	15,90	1,78	15,04	3,45	14,70	2,30	B-S: 0,77 B-R: 1,43 S-R: 0,28	0,451 0,168 0,780
Bedeutungshaltigkeit	5,73	2,30	6,12	3,44	5,23	4,15	B-S: -0,33 B-R: 0,37 S-R: 0,58	0,747 0,716 0,571
Valenz	1,96	3,69	2,52	4,02	0,95	3,54	B-S: -0,35 B-R: 0,69 S-R: 1,01	0,728 0,501 0,322
Potenz	0,15	3,77	-0,64	3,76	-1,70	4,21	B-S: 0,51 B-R: 1,13 S-R: 0,65	0,612 0,270 0,524
Erregung	-0,82	3,94	-3,12	2,66	-1,42	2,91	B-S: 1,68 B-R: 0,42 S-R: -1,50	0,108 0,679 0,148
Silbenanzahl	1,58	0,52	1,67	0,49	1,33	0,49	B-S: -0,41 B-R: 1,22 S-R: 1,66	0,689 0,237 0,111
Buchstabenanzahl	5,58	1,00	5,08	0,90	5,17	0,94	B-S: 1,29 B-R: 1,06 S-R: -0,22	0,210 0,303 0,826
Häufigkeit im Deutschen	10,50	1,98	10,67	1,72	10,83	1,99	B-S: -0,22 B-R: -0,41 S-R: -0,22	0,828 0,685 0,829

Anmerkungen: Bedingung = Baseline (B), Suppression (S) und Response (R), jeweils n = 12.

Tabelle 24: Rohwerte der älteren Teilnehmer im *Wechsler Gedächtnis Test*

Subtest	M	SD
WMS-R logisches Gedächtnis I (direkter Abruf)	32,07	5,57
WMS-R logisches Gedächtnis II (verzögerter Abruf)	27,60	7,53
WMS-R verbale Paarerkenntung I (lernen)	21,80	2,31
WMS-R verbale Paarerkenntung II (Abruf)	7,53	0,74
WMS-R figurales Gedächtnis	7,73	1,22
WMS-R visuelle Wiedergabe I (lernen)	38,13	2,62
WMS-R visuelle Wiedergabe II (Abruf)	36,87	3,74
WMS-R visuelle Paarerkenntung I (lernen)	16,40	2,20
WMS-R visuelle Paarerkenntung II (Abruf)	6,00	0,00



Tabelle 25: Mittlere Fehleranzahl pro Gruppe im *Emotionalen Stroop Paradigma*

Bedingung Fehler	jüngere		ältere	
	M	SD	M	SD
Insgesamt	1,80	1,86	0,80	0,86
Non-stroop	0,80	0,86	0,47	0,64
Stroop	1,00	1,25	0,33	0,49
Neutral	0,67	0,82	0,40	0,51
Negativ	0,47	0,64	0,20	0,41
Non-Stroop neutral	0,33	0,49	0,20	0,41
Non-Stroop negativ	0,13	0,35	0,07	0,26
Stroop neutral	0,33	0,49	0,20	0,41
Stroop negativ	0,33	0,62	0,13	0,35

### Gleichungen für die lineare Transformation der Skalen (übernommen aus Hager & Hasselhorn, 1994, Kapitel 3):

M<sub>x</sub>: Mittelwert der Einschätzungen auf der Basis der Originalskala

M<sub>y</sub>: Mittelwert der Einschätzungen nach der Transformation, also jeweils bezogen auf die „neue“ 41-Punkte-Skala von -20 bis +20

S<sub>x</sub>: Streuung der Einschätzungen auf der Basis der Originalskala

S<sub>y</sub>: Streuung der Einschätzungen nach der Transformation, also jeweils bezogen auf die „neue“ 41-Punkte-Skala von -20 bis +20.

„Bildhaftigkeit“, „Konkretheit-Abstraktheit“ und „Bedeutungshaltigkeit“ waren auf einer 7-Punkte-Skala von 1 bis 7 erhoben worden:

Transformationsformel 7-Punkte-Skala (X): (1, ..., 4, ..., 7) auf 41-Punkte-Skala (Y): (-20, ..., 0, ..., +20):

$$M_y = \frac{M_x - 4}{0,15}$$

$$S_y = 1/0,15 * S_x$$

„Valenz“, „Potenz“ und „Erregung“ waren ebenfalls auf einer 7-Punkte-Skala, jedoch von -3 bis +3, erhoben worden:

Transformationsformel 7-Punkte-Skala (X): (-3, ..., 0, ... +3) auf 41-Punkte-Skala (Y): (-20, ..., 0, ..., +20):

$$M_y = \frac{M_x}{0,15}$$

$$S_y = 1/0,15 * S_x$$

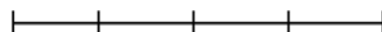
## Anhang B: Selbst erstellte Verfahren

### Kontrollfragebogen zur subjektiven Suppressionseinschätzung (KSSE)

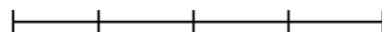

Haben Sie überhaupt versucht, die Erinnerung an die gelernten Wörter von Ihrem Bewusstsein fernzuhalten?

ja  nein



Wie oft mussten Sie bei einem roten Schlüsselwort an das dazugehörige Zielwort denken, obwohl Sie versuchten, es zu unterdrücken?

nie  sehr oft

Wie erfolgreich gelang es Ihnen Ihrer Meinung nach, die Erinnerung an ein vorhin gelerntes Wort jetzt zu unterdrücken?

 überhaupt nicht erfolgreich  sehr erfolgreich

Wie sehr haben Sie sich dabei angestrengt, die Erinnerung an ein gelerntes Wort zu unterdrücken?

 überhaupt nicht  sehr

Hatten Sie beim Abfragen aller Wörter ganz zum Schluss den Eindruck, dass Sie sich an die zu unterdrückenden Wörter weniger gut erinnern konnten als an die zu erinnernden?

ja  nein

In welchem Verhältnis steht dazu die Erinnerung an die Wörter, die in diesem Durchgang nicht vorkamen?

 schlechter erinnert  gleich  besser erinnert

Sind Sie der Meinung, dass das Unterdrücken von Gedächtnisinhalten tatsächlich dazu führt, sie zu vergessen?

ja  nein

Falls nein: Sind Sie der Meinung, dass das Unterdrücken von Gedächtnisinhalten den umgekehrten Effekt hat, dass man gerade diese Inhalte besser in Erinnerung behält?

ja  nein

Abb. 20: Kontrollfragebogen zur subjektiven Suppressionseinschätzung (KSSE)

Auswertung für Wortlisten-Experiment mit fMRT

Datum:

Kennziffer:

Ergebnisse

Anzahl der Durchgänge bis 50% der Zielwörter richtig:

Abruf am Ende

- Anzahl Wortpaare insgesamt:
- Anzahl Baseline-Items:
- Anzahl Suppression-Items:
- Anzahl Response-Items:

Fragebogen (Kommentar zur subjektiven Suppressionseinschätzung)

Besonderheiten

Abb. 21: Auswertungsbogen für das *think/no-think* Paradigma, Seite 1

Lerndurchgänge bis 50% der Wörter gewusst werden

Ereignis – Moor (S)										
Prädikat – Dampf (R)										
Traum – Brett (R)										
Wettbewerb – Kirche (S)										
Ahnung – Staub (S)										
Umgang – Berg (S)										
Argument – Maler (B)										
Vollmacht – See (R)										
Bündnis – Puppe (R)										
Überlegung – Stuhl (B)										
Änderung – Junge (S)										
Fortdauer – Schmied (B)										
Prüfung – Insekt (B)										
Hinblick – Fahne (B)										
Epoche – Sumpf (R)										
Zufall – Fleisch (B)										
Absprache – Hammer (B)										
Bedeutung – Pferd (R)										
Eindruck – Katze (S)										
Dimension – Mädchen (B)										
Sport – Tinte (S)										
Verstand – Wohnung (S)										
Drama – Metall (S)										
Makel – Halle (B)										
Machwerk – Blüte (S)										
Phase – Gras (S)										
Ruhm – Bauch (R)										
Aufwand – Stein (B)										
Eignung – Schaum (R)										
Irrtum – Hotel (R)										
Anteil – Schüler (R)										
Auftakt – Buch (B)										
Verzicht – Markt (R)										
Empfehlung – Vogel (B)										
Jahreszeit – Küche (S)										
Gruppe – Doktor (R)										
SUMME										

Abb. 22: Auswertungsbogen für das *think/no-think* Paradigma, Seite 2

Abruf Wortliste am Ende:

Ahnung – Staub (S)		Absprache – Hammer (B)	
Verzicht – Markt (R)		Eindruck – Katze (S)	
Wettbewerb – Kirche (S)		Dimension – Mädchen (B)	
Gruppe – Doktor (R)		Auftakt – Buch (B)	
Makel – Halle (B)		Traum – Brett (R)	
Argument – Maler (B)		Irrtum – Hotel (R)	
Umgang – Berg (S)		Empfehlung – Vogel (B)	
Vollmacht – See (R)		Prädikat – Dampf (R)	
Änderung – Junge (S)		Aufwand – Stein (B)	
Bündnis – Puppe (R)		Verstand – Wohnung (S)	
Überlegung – Stuhl (B)		Sport – Tinte (S)	
Drama – Metall (S)		Ruhm – Bauch (R)	
Prüfung – Insekt (B)		Anteil – Schüler (R)	
Ereignis – Moor (S)		Bedeutung – Pferd (R)	
Fortdauer – Schmied (B)		Phase – Gras (S)	
Jahreszeit – Küche (S)		Hinblick – Fahne (B)	
Epoche – Sumpf (R)		Eignung – Schaum (R)	
Zufall – Fleisch (B)		Machwerk – Blüte (S)	

alle richtig supprimiert oder erinnert?

## Anhang C: Material zur Probandenrekrutierung

**50 €**

# Aufwandsentschädigung!

Ich suche für meine Doktorarbeit ProbandInnen für eine neuropsychologische Studie:

Sie sollten:


- **zwischen 18 und 35 Jahre alt sein**
- **Abitur haben**
- **sowie keine psychiatrische oder neurologische Erkrankung haben (auch nicht in der Vorgeschichte)**


Es handelt sich um eine Studie zur Informationsverarbeitung, bei der Ihre Gehirnaktivität mittels Magnet-Resonanztomographie (MRT) gemessen wird. Zusätzlich werden noch Aufgaben zur generellen kognitiven Leistung durchgeführt.

Mit Ihrer Teilnahme helfen Sie dabei, die gegenwärtige psychologische Diagnostik zu verbessern und effektivere Behandlungsmethoden zu entwickeln.

Bei Interesse : Franziska Meister  
Klinische Psychologie und Psychophysiologie  
Nussbaumstr. 7  
80336 München  
**Tel: 089 / 51 60 – 34 03**

Email: [Franziska.Meister@med.uni-muenchen.de](mailto:Franziska.Meister@med.uni-muenchen.de)

  
 Ludwig-  
 Maximilians-  
 Universität-  
 München

  
 AG NeuroKognition

Aufwandsentschädigung:  
**50 € für  
 Gedächtnistest**

**Liebe InteressentInnen,**  
 in einer aktuellen Studie möchten wir  
 Gedächtnisfunktionen beim **gesunden  
 Altersverlauf** untersuchen. Dafür sollen  
 Ergebnisse von jüngeren Personen mit  
 denen älterer Personen verglichen werden.

Zur Aufklärung unserer Untersuchungs-  
 fragen suchen wir derzeit **gesunde  
 ProbandInnen im Alter von 55 – 80 Jahren**  
 (idealerweise mit Abitur), die Interesse an  
 der Teilnahme an einem **Gedächtnistest**  
 haben.

Projektleiter:  
 Dr. Kristina Fast, Diplom – Psychologin  
 Tel.: 089-5160-5565  
 Email: Kristina.Fast@med.uni-muenchen.de

**Verantwortlich für Durchführung und  
 Terminplanung:**  
 Franziska Meister M.A.  
 Tel.: 089-5160-3403  
 Email: fmeister@med.uni-muenchen.de

Ort der Durchführung:  
 Abt. für klinische Psychologie und Psychophysiologie  
 Leiter Prof. Dr. R. R. Engel  
 Klinik und Poliklinik für  
 Psychiatrie und Psychotherapie  
 Nußbaumstr. 7  
 80336 München

Abb. 25: Handzettel zur Rekrutierung der älteren Probanden, Seite 1

**Aufbau der Studie**

**1. Anamnese**

Durch ein kurzes anamnestisches Interview soll das Vorliegen früherer und aktueller Erkrankungen geprüft werden.

**2. Neuropsychologische Diagnostik**

Durch mehrere psychologische Testverfahren sollen kognitive Funktionsbereiche untersucht werden. Es handelt sich hierbei um verschiedene Aufgaben (z.B. Gedächtnis, Aufmerksamkeit) in Form von Papier- und Bleistifttest oder Computer-Tests.

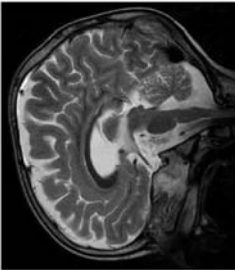
**3. Experimentelles Paradigma**

Es handelt sich um eine Untersuchung zur Informationsverarbeitung, bei der Ihre Gehirnaktivitäten mit Hilfe der sogenannten Magnetresonanztomographie gemessen werden (siehe nächster Abschnitt). Eine Aufgabe zum Behalten und Vergessen vorher gelernter Wörter wird währenddessen durchgeführt.


**Dauer**

1. Termin: Anamnese und Neuropsychologie im Klinikum Innenstadt (siehe Rückseite): ca. 3 Stunden  
 2. Termin: fMRT-Untersuchung im Klinikum Großhadern: ca. 2 Stunden (davon nur 45 Min. innerhalb des MR-Tomographen)

**Funktionelle Magnetresonanztomographie**



Funktionelle bildgebende Verfahren spielen in der psychologischen Forschung eine zunehmend wichtige Rolle. Liegt eine Person in Ruhe mit geschlossenen Augen im Magnet-Resonanztomographen (MRT, Kernspin), so besteht ein bestimmtes Muster an Gehirnaktivität. Dieses Bild verändert sich, sobald die Person eine Aufgabe ausführt. Im Gegensatz zur Röntgenstrahlung ist die magnetische Strahlung des MRT **unschädlich** für den Menschen.



Die Teilnahme an der Untersuchung ist freiwillig und Sie haben zu jedem Zeitpunkt die Möglichkeit, die Studie abzubrechen. Ihre Ergebnisse können wir aber nur dann auswerten, wenn Sie an der gesamten Untersuchung teilgenommen haben.

**Das bekommen Sie von uns:**

- **Ein Bild Ihres Gehirns**
- **Rückmeldung und genaue Erläuterung der neuropsychologischen Untersuchung**
- **Eine Aufwandsentschädigung von € 50,-**

**UND :**

Sie leisten einen **wichtigen Beitrag zur verbesserten Diagnostik, Prävention und Behandlung** altersbedingter Erkrankungen.

Über Anregungen und Rückmeldungen von Ihnen freuen wir uns jederzeit.

Abb. 26: Handzettel zur Rekrutierung der älteren Probanden, Seite 2



## Anhang D: Information und Einverständniserklärung

### Klinikum der Universität München

Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und  
Psychotherapie - Innenstadt  
Direktor: Prof. Dr. H.-J. Möller  
Klinische Psychologie und Psychophysiologie: Leiter Prof. Dr. R. Engel

Ludwig  
Maximilians  
Universität  
München

LMU

Telefon 089 / 5160-0  
Durchwahl 089 / 5160-3403  
Telefax 089 / 5160-5562

### INFORMATION I

für alle Teilnehmer an der Untersuchung

" Die Rolle des DLPFC (dorsolateraler präfrontaler Cortex) beim episodischen Enkodieren  
und Abrufen: der Einfluss willentlicher Suppression auf die Gedächtnisleistung"

**Projektleiter:** Dr. Kristina Fast (Tel: 089-5160-5565)

**Verantwortlich für die Durchführung:** Franziska Meister (Tel: 089-5160-3403)

Die Erforschung des Alterseinflusses auf das Gedächtnis ist von großer Bedeutung für eine präventive Diagnostik prädementieller Entwicklungen. Um sich diesem Gebiet anzunähern, bedient man sich dem Vergleich von Gedächtnisleistungen älterer Menschen mit denjenigen jüngerer Menschen.

Wir möchten Sie bitten, an einer Untersuchung teilzunehmen, deren Ziel die genauere Erfassung von Gedächtnis- und Suppressionsleistungen ist. Wir benötigen für diese Untersuchung die Teilnahme von gesunden jungen und älteren Probanden.

Ein Teil der Untersuchung findet am Computer statt, ein Teil in Form von sogenannten Papier- und Bleistiftaufgaben. Bei der Untersuchung zu Gedächtnis und Suppression werden Ihnen Wortpaare präsentiert. Ihre Aufgabe ist es, diese Wortpaare zu lernen und später bei Präsentation des einen Wortes das andere zu erinnern oder die Erinnerung daran zu unterdrücken. Während diesem Teil der Untersuchung werden mittels fMRT die jeweiligen Gehirnaktivierungen gemessen. Außer der Gedächtnis- und Suppressionsaufgabe werden weitere Aufgaben zu Prüfung von Konzentration, Gedächtnis und Wissen durchgeführt (Dauer: etwa 150 Minuten). Außerdem wird ein kurzes Interview durchgeführt (Dauer: etwa 15 Minuten), bei dem Sie nach früheren und aktuellen gesundheitlichen Beschwerden gefragt werden. Die Teilnahme birgt keine gesundheitlichen Gefahren.

Sie können die Untersuchung zu jedem Zeitpunkt, auch ohne Angabe von Gründen, abbrechen. Es entstehen Ihnen daraus keinerlei Nachteile. Bitte beachten Sie aber, dass wir Ihre Ergebnisse nur dann auswerten können, wenn Sie an der gesamten Untersuchung teilgenommen haben.

**Die aufgezeichneten Daten werden aufbewahrt, jedoch vorher pseudonymisiert, d.h. niemand außer den Untersuchungsleitern kann erkennen, von wem die Daten stammen. Autorisierte Stellen können Einsicht in diese anonymisierten Daten erhalten. Eine Weitergabe individualisierter Daten erfolgt nicht. Die Datenschutzrichtlinien werden strikt eingehalten.**

Wir bedanken uns für Ihre Mitarbeit!

## Klinikum der Universität München

Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und  
Psychotherapie - Innenstadt

Direktor: Prof. Dr. H.-J. Möller

Klinische Psychologie und Psychophysiologie: Leiter Prof. Dr. R. Engel

Ludwig  
Maximilians  
Universität  
München

LMU

Telefon 089 / 5160-0  
Durchwahl 089 / 5160-3403  
Telefax 089 / 5160-5562

### EINVERSTÄNDNISERKLÄRUNG I

für **alle** Teilnehmer an der Untersuchung

" Die Rolle des DLPFC (dorsolateraler präfrontaler Cortex) beim episodischen Enkodieren  
und Abrufen: der Einfluss willentlicher Suppression auf die Gedächtnisleistung"

**Projektleiter:** *Dr. Kristina Fast (Tel: 089-5160-5565)*

**Verantwortlich für die Durchführung:** *Franziska Meister (Tel: 089-5160-3403)*

Ich \_\_\_\_\_, geb. am \_\_\_\_\_  
(Name des Probanden)

wurde von \_\_\_\_\_ am (Datum) \_\_\_\_\_  
(Name des Untersuchungsleiters)

über das Wesen, die Ziele und die Tragweite der oben genannten Untersuchung informiert.  
Ich bin mit der mir erläuterten Vorgehensweise und Untersuchung einverstanden. Ich behalte  
mir das Recht vor, jederzeit, auch ohne Angabe von Gründen, die Einwilligung zur Teilnahme  
zurückzuziehen.

Datum \_\_\_\_\_  
(Unterschrift des Probanden)

Der Teilnehmer ist in der Lage Wesen, Tragweite und Bedeutung der Untersuchung richtig zu  
beurteilen.

Datum \_\_\_\_\_  
(Unterschrift des aufklärenden Untersuchers)

Abb. 28: Einverständniserklärung

## Curriculum Vitae

### Persönliche Daten

Name	Franziska Maria Meister
Geburtsdatum	26.12.1979
Geburtsort	München

### Ausbildung

1990-1999	Max-Josef-Stift München, Abschluss: Abitur
1999-2004	Studium der Neueren Deutschen Literaturwissenschaft (Hauptfach), der Psychologie und der Computerlinguistik (Nebenfächer) an der Ludwig-Maximilians-Universität München, Abschluss: Magister Artium
2004-2007	Promotionsstudiengang Humanbiologie

### Berufliche Tätigkeit

2004-2007	Mitarbeiterin an der Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie, Abteilung für Klinische Psychologie und Psychophysiologie Tutorin im Elitestudiengang Neurcognitive Psychology Lehrtätigkeit im Rahmen der MeCum-Kurse
-----------	---