

**Kognitive Altersunterschiede und  
der Einfluss von Training:  
Eine elektrophysiologische Studie**

Dissertation

Zur Erlangung des akademischen Grades  
eines Doktors der Philosophie an der  
Technischen Universität Dortmund  
(Fachbereich 14)

vorgelegt von  
Dipl.-Psych. Claudia Wipking  
geb. in Gronau (Westf.)

Dortmund 2012

Gutachter: Prof. Dr. Michael Falkenstein  
PD Dr. Stephan Getzmann

Tag der mündlichen Prüfung: 01.03.2013



THAT'S THE WHOLE PROBLEM WITH  
SCIENCE. YOU'VE GOT A BUNCH OF  
EMPIRICISTS TRYING TO DESCRIBE  
THINGS OF UNIMAGINABLE WONDER.



© Bill Watterson



## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	1
Abkürzungsverzeichnis .....	4
Tabellenverzeichnis .....	5
Abbildungsverzeichnis .....	8
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>11</b>
<b>2 Theoretischer und empirischer Hintergrund .....</b>	<b>14</b>
2.1 Entwicklung kognitiver Funktionen im Alter .....	14
2.1.1 Zweikomponentenmodelle der Intelligenzentwicklung .....	15
2.1.2 Ressourcen- vs. prozessorientierte Ansätze .....	17
2.1.2.1 Ressourcenorientierte Ansätze .....	17
2.1.2.2 Prozessorientierte Ansätze .....	19
2.2 Exekutive Funktionen .....	19
2.3 Paradigma .....	22
2.3.1 Stroop-Aufgabe .....	22
2.3.2 Aufgabenwechsel .....	24
2.3.3 Kombination der beiden Aufgaben: Stroop-Switch-Aufgabe .....	26
2.4 Ereigniskorrelierte Potentiale .....	27
2.5 EKP-Befunde in Stroop-Aufgabe, Aufgabenwechsel und kombiniert (Stroop-Switch) .....	29
2.5.1 Stroop-Aufgabe .....	29
2.5.2 Aufgabenwechsel .....	31
2.5.2.1 Intervall zwischen Hinweisreiz und Zielreiz .....	32
2.5.2.2 Nach Erscheinen des Zielreizes .....	33
2.5.3 Kombinierte Stroop-Switch-Aufgabe .....	34
2.5.3.1 Intervall zwischen Hinweisreiz und Zielreiz .....	34
2.5.3.2 Nach Erscheinen des Zielreizes .....	35
2.6 Altersveränderungen in Stroop-Aufgabe, Aufgabenwechsel und kombiniert (Stroop-Switch) .....	35
2.6.1 Stroop-Aufgabe .....	35
2.6.2 Aufgabenwechsel .....	36
2.6.2.1 EKP im Intervall zwischen Hinweisreiz und Zielreiz .....	36
2.6.2.2 EKP nach Erscheinen des Zielreizes .....	37
2.6.3 Kombinierte Stroop-Switch-Aufgabe .....	37
2.6.3.1 Intervall zwischen Hinweisreiz und Zielreiz .....	37
2.6.3.2 Nach Erscheinen des Zielreizes .....	38
2.7 Zusammenfassung der relevanten EKP-Befunde .....	39
2.8 Kognitive Plastizität: Einfluss von Trainingsmaßnahmen .....	42
2.8.1 Körperliches Training .....	43
2.8.2 Kognitives Training .....	48
2.8.3 Vergleich verschiedener Trainingsformen .....	51
2.9 Hypothesen und Fragestellung .....	52

2.9.1	Studie 1: Vergleichende Altersstudie mit den Gruppen „Jüngere“ und „Ältere“ .....	53
2.9.2	Einfluss von Training.....	57
<b>3</b>	<b>Studie I: Vergleichende Altersstudie mit den Gruppen „Jüngere“ und „Ältere“ .....</b>	<b>60</b>
3.1	Methodik .....	60
3.1.1	Allgemeine Untersuchungsdurchführung .....	60
3.1.2	Stichprobenbeschreibung .....	61
3.1.3	Versuchsaufbau .....	62
3.1.3.1	Ablauf.....	62
3.1.3.2	Versuchsraum und Apparatur .....	63
3.1.3.3	Reizmaterial und Reizdarbietung .....	63
3.1.3.4	Versuchsplan .....	65
3.1.4	Datenerfassung und –aufzeichnung .....	67
3.1.4.1	Erfassung der Verhaltensdaten .....	67
3.1.4.2	Elektrophysiologische Registrierung .....	68
3.1.5	Datenanalyse.....	69
3.1.5.1	EEG-Analyse .....	69
3.1.5.2	Parameter .....	70
3.1.5.3	Statistische Auswertung.....	71
3.2	Ergebnisse .....	73
3.2.1	Verhaltensdaten.....	73
3.2.1.1	Zusammenfassung der Ergebnisse der Verhaltensdaten .....	73
3.2.1.2	Reaktionszeiten .....	74
3.2.1.3	Fehler.....	81
3.2.2	EKP.....	86
3.2.2.1	CueP3.....	86
3.2.2.2	Amplitude der N2 .....	93
3.2.2.3	Latenz der N2 .....	97
3.2.2.4	N <sub>i</sub> .....	98
3.2.2.5	P3 .....	99
3.3	Diskussion .....	104
3.3.1	Verhaltensdaten.....	104
3.3.2	EKP.....	105
3.3.2.1	CueP3.....	106
3.3.2.2	N2 .....	108
3.3.2.3	N <sub>i</sub> .....	109
3.3.2.4	P3 .....	111
3.3.3	Integration der Ergebnisse und Beantwortung der Forschungsfragen .....	112
<b>4</b>	<b>Studie II: Einfluss von Training .....</b>	<b>116</b>
4.1	Methodik .....	116
4.1.1	Allgemeine Versuchsdurchführung .....	116
4.1.2	Stichprobenbeschreibung .....	116
4.1.3	Gruppen und Interventionen .....	117
4.1.3.1	Körperliches Training (KörTG) .....	117
4.1.3.2	Kognitives Training (KogTG).....	118
4.1.3.3	Soziale Kontrollgruppe (SozKG) .....	120

---

4.1.3.4	Passive Kontrollgruppe (PasKG) .....	120
4.1.4	Versuchsaufbau .....	121
4.1.4.1	Versuchsplan .....	121
4.1.5	Datenerfassung und –aufzeichnung .....	122
4.1.6	Datenanalyse .....	122
4.1.6.1	Statistische Auswertung .....	122
4.2	Ergebnisse .....	123
4.2.1	Verhaltensdaten .....	123
4.2.1.1	Zusammenfassung der Ergebnisse der Verhaltensdaten .....	123
4.2.1.2	Reaktionszeiten .....	124
4.2.1.3	Fehler .....	131
4.2.2	EKP .....	140
4.2.2.1	CueP3 .....	140
4.2.2.2	N2 Amplitude .....	150
4.2.2.3	N2 Latenz .....	157
4.2.2.4	P3 .....	164
4.3	Diskussion .....	171
4.3.1	Verhaltensdaten .....	171
4.3.2	EKP .....	172
4.3.2.1	CueP3 .....	172
4.3.2.2	N2 .....	173
4.3.2.3	P3 .....	175
4.3.3	Integration der Ergebnisse und Beantwortung der Forschungsfragen .....	176
<b>5</b>	<b>Allgemeine Diskussion .....</b>	<b>178</b>
5.1	Zusammenführung der Ergebnisse aus den Studien I und II .....	178
5.2	Einordnung in das theoretische Konstrukt des kognitiven Alterungsprozesses .....	181
5.3	Kritische Reflexion .....	184
5.4	Fazit .....	187
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>190</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>193</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>209</b>	
Informationsblatt .....	209	
Einverständniserklärung .....	211	
Instruktionen .....	212	
Erläuterung der in der KogTG verwendeten Programme und Übungen .....	215	
Danksagung .....	225	

## Abkürzungsverzeichnis

ACC.....	anteriorer cingulärer Kortex
ADAS .....	Alzheimer's Disease Assessment Scale
ANOVA.....	Analysis of Variance (Varianzanalyse)
CueP3 .....	Positivierung zwischen Hinweis- und Zielreiz
DLPC.....	dorsolateraler präfrontaler Kortex
EEG.....	Elektroenzephalogramm
EKP .....	ereigniskorreliertes Potenzial
EOG .....	Elektrookulogramm
F .....	Freiheitsgrade
fMRT .....	funktionelle Magnetresonanztomografie
KogTG.....	kognitive Trainingsgruppe
KörTG.....	körperliche Trainingsgruppe
MAT.....	mentales Aktivierungstraining
MCI.....	mild cognitive Impairment
MMST.....	Mini-Mental-Status-Test
N2.....	negativer Peak im Bereich 200-400 ms nach dem Zielreiz
N <sub>i</sub> .....	Negativierung im Bereich 400-600 ms nach dem Zielreiz
p .....	probability (Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses)
P3.....	positive Komponente im Bereich 300-600 ms nach dem Zielreiz
PASAT .....	paced auditory serial Addition Test
PasKG.....	passive Kontrollgruppe
PC .....	Personal Computer
PET .....	Positronen-Emissions-Tomografie
PWC 130.....	physical Working-Capacity, Herzfrequenz 130 Schläge/Minute
RT .....	Reaktionszeit
SAS.....	supervisory attentional System
SozKG.....	soziale Kontrollgruppe
SP .....	slow Potential (langsames Potenzial)

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht über die relevanten EKP-Komponenten .....	42
Tabelle 2:	Soziodemografische Daten der jüngeren und älteren Studienteilnehmer.....	62
Tabelle 3:	Übersicht über die Innersubjektfaktoren .....	67
Tabelle 4:	Reaktionszeiten für die Gesamtstichprobe in den einfachen Blöcken und im gemischten Block für kongruente und inkongruente Reize.....	76
Tabelle 5:	Soziodemografische Daten der Teilnehmer der Trainingsstudie .....	117
Tabelle 6:	Reaktionszeiten für die Gruppen und Gesamt zum Zeitpunkt der Vor- und Nachmessung in den einfachen Blöcken und im gemischten Block.....	125
Tabelle 7:	Kontraste der Differenz-Reaktionszeiten zwischen den Gruppen in den einfachen Blöcken und im gemischten Block.....	125
Tabelle 8:	Kontraste der Differenz-Reaktionszeiten zwischen den Gruppen in den einfachen Blöcken und im gemischten Block für kongruente und inkongruente Reize .....	127
Tabelle 9:	Reaktionszeiten für die Gruppen und Gesamt zum Zeitpunkt der Vor- und Nachmessung in den einfachen Blöcken und im gemischten Block für kongruente und inkongruente Reize.....	128
Tabelle 10:	Kontraste der Differenz-Reaktionszeiten zwischen den Gruppen in den Aufgabenwiederholungen und -wechseln des gemischten Blocks und in den einfachen Blöcken .....	130
Tabelle 11:	Reaktionszeiten für die Gruppen und Gesamt zum Zeitpunkt der Vor- und Nachmessung in den Aufgabenwiederholungen und -wechseln des gemischten Blocks und im einfachen Block .....	131
Tabelle 12:	Kontraste der Differenz-Fehlerraten zwischen den Gruppen in den Blöcken einfach Wortbedeutung, einfach Farbe und gemischt..	132
Tabelle 13:	Fehlerraten für die Gruppen und Gesamt zum Zeitpunkt der Vor- und Nachmessung in den Blöcken einfach Wortbedeutung, einfach Farbe und gemischt. ....	133
Tabelle 14:	Kontraste der Differenz-Fehlerraten zwischen den Gruppen in den einfachen Blöcken und gemischtem Block für kongruente und inkongruente Reize.....	134
Tabelle 15:	Fehlerraten für die Gruppen und Gesamt zum Zeitpunkt der Vor- und Nachmessung im gemischten Block für kongruente und inkongruente Reize.....	135
Tabelle 16:	Kontraste der Differenz-Fehlerraten zwischen den Gruppen im gemischten Block für die relevanten Dimensionen Wortbedeutung und Farbe .....	136

Tabelle 17:	Fehlerraten für die Gruppen und Gesamt zum Zeitpunkt der Vor- und Nachmessung im gemischten Block für die relevanten Dimensionen Wortbedeutung und Farbe. ....	136
Tabelle 18:	Kontraste der Differenz-Fehlerraten zwischen den Gruppen für die Differenzen (inkongruent-kongruent) in den einfachen Blöcken und gemischtem Block für die relevanten Dimensionen Wortbedeutung und Farbe .....	137
Tabelle 19:	Kontraste der Differenz-Fehlerraten zwischen den Gruppen in den Aufgabenwiederholungen und -wechseln des gemischten Blocks insgesamt und für die relevanten Dimensionen Wortbedeutung und Farbe.....	139
Tabelle 20:	Fehlerraten für die Gruppen und Gesamt zum Zeitpunkt der Vor- und Nachmessung im gemischten Block für Aufgabenwiederholungen und -wechsel. ....	139
Tabelle 21:	CueP3, Kontraste zwischen den Gruppen in der Bedingung Wortbedeutung des gemischten Blocks an frontalen, centralen und parietalen Elektroden .....	142
Tabelle 22:	CueP3, Amplituden der Gruppen in der Bedingung Wortbedeutung des gemischten Blocks an frontalen, centralen und parietalen Elektroden zum ersten und zweiten Messzeitpunkt. ....	143
Tabelle 23:	CueP3, Kontraste zwischen den Gruppen in der Bedingung Farbe des gemischten Blocks an frontalen, centralen und parietalen Elektroden.....	145
Tabelle 24:	CueP3, Amplituden der Gruppen in der Bedingung Farbe des gemischten Blocks an frontalen, centralen und parietalen Elektroden zum ersten und zweiten Messzeitpunkt. ....	147
Tabelle 25:	CueP3, Kontraste zwischen den Gruppen in der Bedingung Aufgabenwiederholung des gemischten Blocks an frontalen, centralen und parietalen Elektroden.....	148
Tabelle 26:	CueP3, Amplituden der Gruppen in der Bedingung Aufgabenwiederholung des gemischten Blocks an frontalen, centralen und parietalen Elektroden zum ersten und zweiten Messzeitpunkt. ....	150
Tabelle 27:	N2 Amplitude, Kontraste zwischen den Gruppen im einfachen Block Farbe für kongruente und inkongruente Reize an den Elektroden Fz und Cz.....	152
Tabelle 28:	N2, Amplituden der Gruppen für kongruente und inkongruente Reize des einfachen Blocks Farbe an den Elektroden Fz und Cz zum ersten und zweiten Messzeitpunkt. ....	153
Tabelle 29:	N2 Amplitude, Kontraste zwischen den Gruppen im gemischten Block für kongruente und inkongruente Reize an den Elektroden Fz und Cz.....	155

---

Tabelle 30:	N2, Amplituden der Gruppen für kongruente und inkongruente Reize des gemischten Blocks an den Elektroden Fz und Cz zum ersten und zweiten Messzeitpunkt.....	156
Tabelle 31:	N2 Latenz, Kontraste zwischen den Gruppen im einfachen Block Wortbedeutung für kongruente und inkongruente Reize an den Elektroden Fz und Cz .....	159
Tabelle 32:	N2, Latenzen der Gruppen für kongruente und inkongruente Reize des einfachen Blocks Wortbedeutung an den Elektroden Fz und Cz zum ersten und zweiten Messzeitpunkt.....	160
Tabelle 33:	N2 Latenz, Kontraste zwischen den Gruppen im einfachen Block Farbe für kongruente und inkongruente Reize an den Elektroden Fz und Cz .....	161
Tabelle 34:	N2, Latenzen der Gruppen für kongruente und inkongruente Reize des einfachen Blocks Farbe an den Elektroden Fz und Cz zum ersten und zweiten Messzeitpunkt. ....	162
Tabelle 35:	N2 Latenz, Kontraste zwischen den Gruppen im gemischten Block für kongruente und inkongruente Reize an den Elektroden Fz und Cz. ....	163
Tabelle 36:	N2, Latenzen der Gruppen für kongruente und inkongruente Reize des gemischten Blocks an den Elektroden Fz und Cz zum ersten und zweiten Messzeitpunkt.....	164
Tabelle 37:	P3, Kontraste zwischen den Gruppen bei Aufgabenwiederholungen des gemischten Blocks an frontalen, centralen und parietalen Elektroden .....	165
Tabelle 38:	P3, Amplituden in den Gruppen in Aufgabenwiederholungen des gemischten Blocks an frontalen, centralen und parietalen Elektroden zum ersten und zweiten Messzeitpunkt. ....	165
Tabelle 39:	P3 Kontraste zwischen den Gruppen bei Aufgabenwechseln des gemischten Blocks an frontalen, centralen und parietalen Elektroden .....	168
Tabelle 40:	P3, Amplituden in den Gruppen in Aufgabenwechseln des gemischten Blocks an frontalen, centralen und parietalen Elektroden zum ersten und zweiten Messzeitpunkt. ....	169

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Bevölkerung nach Altersgruppen im Jahr 2008 und Vorausberechnung für das Jahr 2060. ....	12
Abbildung 2:	Übersicht über die Komponentenstruktur am Ableitort Cz nach einem auditorischen Reiz.....	29
Abbildung 3:	Schematische Darstellung möglicher Stimulus-Konfigurationen .	64
Abbildung 4:	Schematische Darstellung der zeitlichen Abfolge im gemischten Block .....	65
Abbildung 5:	Schematische Darstellung der Topografie (Array um Cz), mit den 3-fach abgestuften Faktoren Lateralität und Anteriorität. ....	66
Abbildung 6:	Schematische Darstellung der Elektrodenpositionen nach dem internationalen 10-20- bzw. 10-10-System.....	69
Abbildung 7:	Reaktionszeiten für Jüngere und Ältere in den Blöcken einfach Wortbedeutung, einfach Farbe und gemischt. ....	75
Abbildung 8:	Reaktionszeiten für Jüngere und Ältere in den einfachen Blöcken und im gemischten Block für die relevanten Dimensionen Wortbedeutung und Farbe. ....	78
Abbildung 9:	Reaktionszeitdifferenzen für Jüngere und Ältere in den einfachen Blöcken und im gemischten Block für die relevanten Dimensionen Wortbedeutung und Farbe. ....	79
Abbildung 10:	Reaktionszeiten für Jüngere und Ältere im gemischten Block für bei Aufgabenwiederholungen und -wechsel.....	80
Abbildung 11:	Reaktionszeiten für Jüngere und Ältere in den einfachen Blöcken und bei Aufgabenwiederholungen im gemischten Block. ....	81
Abbildung 12:	Fehlerraten für Jüngere und Ältere in den einfachen Blöcken und im gemischten Block. ....	82
Abbildung 13:	Fehlerraten für Jüngere und Ältere in den einfachen Blöcken und im gemischten Block und bei kongruenten und inkongruenten Reizen.....	83
Abbildung 14:	Fehlerraten für die Gesamtstichprobe in den einfachen Blöcken und im gemischten Block für die Dimensionen Wortbedeutung und Farbe.....	84
Abbildung 15:	Fehlerraten für Jüngere und Ältere im einfachen Block und bei Aufgabenwiederholungen im gemischten Block.....	86
Abbildung 16:	CueP3, Amplituden im gemischten Block für Jüngere und Ältere in den Dimensionen Wortbedeutung und Farbe. ....	88
Abbildung 17:	CueP3, Grand Averages der Jüngeren und Älteren für die Dimensionen Wortbedeutung und Farbe im gemischten Block an der Elektrode Fz.....	89

Abbildung 18: CueP3, Amplituden im gemischten Block für die Gesamtstichprobe in den Dimensionen Wortbedeutung und Farbe an frontalen, centralen und parietalen Elektroden. ....	90
Abbildung 19: CueP3, Grand Averages der Jüngeren und Älteren für Aufgabenwiederholung und -wechsel im gemischten Block an der Elektrode Pz. ....	91
Abbildung 20: CueP3, Grand Averages der Jüngeren und Älteren für Aufgabenwiederholung und -wechsel im gemischten Block an der Elektrode Fz.....	92
Abbildung 21: CueP3, Amplituden im gemischten Block für Jüngere und Ältere in Aufgabenwiederholung und -wechsel an frontalen, centralen und parietalen Elektroden.....	93
Abbildung 22: N2, Grand Averages der Jüngeren und Älteren für kongruente und inkongruente Reize im einfachen Block Wortbedeutung an der Elektrode Fz .....	94
Abbildung 23: N2, Grand Averages der Jüngeren und Älteren für kongruente und inkongruente Reize im einfachen Block Farbe an der Elektrode Fz.....	95
Abbildung 24: N2, Grand Averages der Jüngeren und Älteren für kongruente und inkongruente Reize im gemischten Block an der Elektrode Fz .....	96
Abbildung 25: Ni, Grand Averages der Jüngeren und Älteren für kongruente und inkongruente Reize sowie für die Differenzen im einfachen Block Farbe an der Elektrode Pz.....	99
Abbildung 26: P3, Amplituden im gemischten Block für Jüngere und Ältere an frontalen, centralen und parietalen Elektroden. ....	101
Abbildung 27: P3, Amplituden für die Gesamtstichprobe an linker Hemisphäre, Mitte und rechter Hemisphäre in den Bedingungen Aufgabenwiederholung und -wechsel. ....	102
Abbildung 28: P3, Grand Averages der Jüngeren und Älteren für Aufgabenwiederholungen und -wechsel im gemischten Block an der Elektrode P4.....	103
Abbildung 29: P3, Grand Averages der Jüngeren und Älteren für Aufgabenwiederholungen und -wechsel im gemischten Block an der Elektrode F4 .....	104
Abbildung 30: Fehlerraten für die Gruppen im gemischten Block für inkongruente Reize zum Zeitpunkt der Vor- und Nachmessung. ....	134
Abbildung 31: CueP3, Grand Averages der Gruppen zum Zeitpunkt der ersten und zweiten Messung für die relevante Dimension Wortbedeutung im gemischten Block an der Elektrode P3 .....	144
Abbildung 32: CueP3, Grand Averages der Gruppen zum Zeitpunkt der ersten und zweiten Messung für die relevante Dimension Farbe im gemischten Block an der Elektrode Cz .....	146

---

Abbildung 33: CueP3, Grand Averages der Gruppen zum Zeitpunkt der ersten und zweiten Messung für Aufgabenwiederholungen im gemischten Block an der Elektrode C4 .....	149
Abbildung 34: N2, Grand Averages der Gruppen zum Zeitpunkt der ersten und zweiten Messung für kongruente Reize im einfachen Block Farbe an der Elektrode Fz.....	154
Abbildung 35: N2, Grand Averages der Gruppen zum Zeitpunkt der ersten und zweiten Messung für kongruente Reize im gemischten Block an der Elektrode Cz .....	157
Abbildung 36: P3, Grand Averages der Gruppen zum Zeitpunkt der ersten und zweiten Messung für Aufgabenwiederholungen im gemischten Block an der Elektrode Cz.....	167
Abbildung 37: P3, Grand Averages der Gruppen zum Zeitpunkt der ersten und zweiten Messung für Aufgabenwechsel im gemischten Block an der Elektrode Fz.....	170

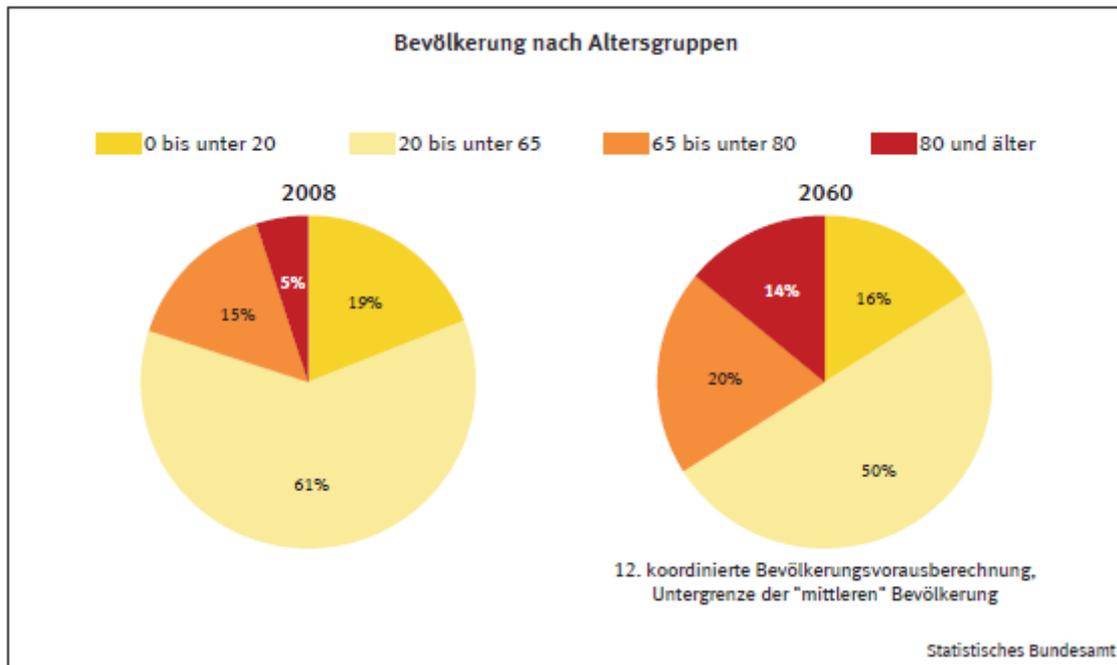
# 1 Einleitung

Die Menschen der Industrieländer werden immer älter (Statistisches Bundesamt, Statistisches Jahrbuch 2011), das Altern rückt daher in den Fokus wissenschaftlicher und sozialer Interessen. Der Alterungsprozess ist ein physiologischer Vorgang, der den gesamten menschlichen Organismus umfasst, also auch das Gehirn. Die kognitive (lat. *cognitio* = Erkenntnis) Altersforschung beschäftigt sich mit der Kognition, also mit allen psychischen Vorgängen, die etwas mit Erkennen und Wissen zu tun haben und deren Veränderungen im höheren Lebensalter. Die Kognition berührt alle Bereiche von Wahrnehmungs-, Gedächtnis- und Denkprozessen. Dabei ist unter anderem von Interesse wie Informationen aufgenommen, gespeichert und verarbeitet sowie Probleme gelöst werden (Solso, 2005).

In der Regel können wir kognitive Leistungen problemlos erbringen, die Komplexität, die sich hinter diesen alltäglichen Leistungen verbirgt, wird erst deutlich, wenn wir mit Ausfällen konfrontiert sind. Es gibt einerseits Veränderungen, welche plötzlich durch Unfälle oder Erkrankungen entstehen, andere Veränderungen sind eher schleichend und betreffen uns alle mehr oder weniger. Diese sind mit dem natürlichen Alterungsprozess verbunden. In Anbetracht der zunehmenden Alterung unserer Gesellschaft (siehe Abbildung 1) stellt uns der mit dem Alter einhergehende kognitive Abbau vor neue gesellschaftliche und gesundheitspolitische Herausforderungen.

Unternehmen müssen ihre Produktivität beispielsweise mit immer älteren Belegschaften sichern. Dabei müssen Arbeitsplätze altersgerecht gestaltet werden, damit ein längerer Verbleib im Erwerbsleben möglich wird. Andererseits steigt die Zahl der Branchen mit Fachkräftemangel jährlich an (Bundesagentur für Arbeit, 2011). So erkennen immer mehr Arbeitgeber das Leistungspotential und den Erfahrungsschatz der Älteren.

Kognitive Alterungsprozesse sind also nicht per se mit Verschlechterungen gleichzusetzen. Einige Fähigkeiten bleiben mit steigendem Alter gleich oder nehmen sogar zu wie beispielsweise Erfahrungswissen, strategisches Denken und sprachliche Kompetenzen (Falkenstein, 2007) sowie soziale Fähigkeiten (Grossmann et al., 2010).



**Abbildung 1:** Bevölkerung nach Altersgruppen im Jahr 2008 und Vorausberechnung für das Jahr 2060 (Quelle: Statistisches Bundesamt, 2009).

Jedoch gibt es auch Verschlechterungen, diese betreffen vor allem das Arbeitsgedächtnis und die so genannten exekutiven Funktionen (Kray & Lindenberger, 2000; Cepeda, Kramer & Gonzalez de Sather, 2001; Bryan & Luszcz, 2010). Diese Funktionen spielen eine entscheidende Rolle bei der Verhaltensanpassung in neuen Situationen und steuern das beobachtbare Verhalten. Dazu gehören z. B. die Hemmung irrelevanter Information und spontaner (Re-)Aktionen, die Koordination von mehreren Tätigkeiten, schnelle Entscheidungsfähigkeit, Widerstandsfähigkeit gegen ablenkende Reize, der Wechsel zwischen Aufgaben sowie die Planung und Vorbereitung von Verhaltensabläufen.

Die exekutiven Funktionen sind also von entscheidender Bedeutung für alle komplexen menschlichen Tätigkeiten und somit kann ein schlechter Status zu Beeinträchtigungen im Beruf und im Alltag führen und das Risiko von Unfällen erhöhen (Lilley, 1995).

Die Verschlechterungen betreffen jedoch nicht alle Menschen in gleichem Maße, mit steigendem Alter nimmt die interindividuelle Variabilität zu (Buitenweg, Murre & Ridderinkhof, 2012). Verschiedene Einflussfaktoren modulieren also durchaus den Verlauf der Altersveränderungen. Neben weiteren Faktoren (z.B. Ernährung und Bildung, für eine Übersicht siehe Fillit et al., 2002) konnte gezeigt werden,

dass körperliches und geistiges Training einen positiven Einfluss auf die kognitiven Funktionen haben (für eine Übersicht siehe Colcombe & Kramer, 2003 sowie Kramer & Morrow, in press). Die Frage, ob *gezielte Trainingsmaßnahmen* die kognitiven Funktionen nachweislich verbessern können, ist also von großer Bedeutung.

Die vorliegende Arbeit untergliedert sich in zwei Teile. Im ersten Teil wird der Frage nach kognitiven Veränderungen im Alter nachgegangen. Dabei wird der Vergleich zwischen Jüngeren und Älteren hergestellt, um anhand der Unterschiede Rückschlüsse auf Veränderungen zu ziehen. Zur Untersuchung der kognitiven Funktionen wird eine komplexe Aufgabe mit hohen Anforderungen an die exekutive Kontrolle gewählt, um Leistungsveränderungen Älterer sichtbar zu machen, welche sich im Alltag möglicherweise noch nicht bemerkbar machen.

Im zweiten Teil wird die Veränderbarkeit von kognitiven Funktionen Älterer durch unterschiedliche Arten von Training untersucht. Es wird die gleiche Aufgabe verwendet, wie im ersten Teil, welche die älteren Versuchspersonen vor und nach dem Training bearbeiten. Es werden die Effekte von körperlichem und kognitivem Training untersucht. Eine aktive (Pseudo-)Trainingsgruppe soll zur Kontrolle des Faktors „soziales Miteinander“ dienen, des Weiteren wird eine passive Kontrollgruppe eingerichtet. Auch hier ist es von Vorteil, dass die Aufgabe hohe Anforderungen an das kognitive System stellt, um auch kleine Verbesserungen erfassen zu können. Der Vergleich der Leistungen vor und nach dem Training soll Aufschluss über die Wirksamkeit der Trainingsmaßnahmen geben.

Da alle psychischen Funktionen durch bioelektrische Signale im Gehirn realisiert werden, lassen sie sich mit Hilfe geeigneter Messverfahren detaillierter untersuchen. Das sogenannte Elektroenzephalogramm und die daraus extrahierte ereigniskorrelierte Hirnaktivität, geben Aufschluss über Intensität, sowie zeitliche und räumliche Verteilung der Hirnströme, die mit den kognitiven Prozessen assoziiert sind. Die hirnelektrischen Prozesse werden in der vorliegenden Studie mit Leistungsdaten in Verbindung gebracht, um ein möglichst vollständiges Profil der kognitiven Fähigkeiten der älteren Personen zu erhalten.

## 2 Theoretischer und empirischer Hintergrund

### 2.1 Entwicklung kognitiver Funktionen im Alter

In den letzten Jahrzehnten wird in der Entwicklungspsychologie zunehmend auch die Entwicklung jenseits der Kindheit berücksichtigt (Baltes, Staudinger & Lindenberger, 1999). Im Vergleich zur Entwicklung im Kindesalter ist das Wissen über die Entwicklung im Erwachsenenalter und im hohen Alter vergleichsweise gering. Angesichts des demografischen Wandels und dem damit verbundenen schnellen Wachstum gerade dieser Bevölkerungsgruppe besteht großer Forschungsbedarf.

Baltes, Reese und Lipsitt (1980) definierten Entwicklungspsychologie folgendermaßen:

“Life-span developmental psychology is concerned with the description, explanation, and modification (optimization) of developmental processes in the human life course from conception to death.” (Baltes, Reese & Lipsitt, 1980)

Die Definition umfasst also auch die Veränderbarkeit von Entwicklungsverläufen. Lindenberger (2007) unterscheidet neben der *intraindividuellen* Veränderbarkeit (Plastizität) in der Entwicklung die *interindividuellen* Gemeinsamkeiten (Regelhaftigkeiten) und die *interindividuellen* Unterschiede in der Entwicklung. Neben Veränderungen auf sensorischer, motorischer und auch emotionaler Ebene gibt es auch kognitive Veränderungen im Laufe der Entwicklung. Die kognitive Altersforschung befasst sich mit altersbezogenen Veränderungen im Wahrnehmen, Denken und Handeln (Lindenberger, 2008) und hat das Ziel, Invarianz und Variabilität, Stabilität und Veränderung von Verhaltensrepertoires im Lebensverlauf zu erklären.

Dabei gibt es drei verschiedene Ansätze. Die Untersuchung Älterer, der Vergleich zwischen verschiedenen Altersgruppen und die Untersuchung des Alterungsprozesses („*the aged, age and aging*“, Schroots, 1996).

Im Folgenden sollen verschiedene theoretische Modelle vorgestellt und diskutiert werden, welche Grundlage der kognitiven Altersforschung sind.

### 2.1.1 Zweikomponentenmodelle der Intelligenzentwicklung

Im Laufe des Lebens verändern sich die kognitiven Fähigkeiten. Dabei unterscheidet man zwischen biologisch und kulturell determinierten Komponenten, welche unterschiedliche Entwicklungsverläufe zeigen (Baltes et al., 1999).

Bereits 1777 unterschied Johann Nicolaus Tetens zwischen absolutem Vermögen und relativem Vermögen im Sinne von Kenntnissen. Aufgrund eigener Beobachtungen vermutete er, dass sich im Kindesalter zunächst das absolute Vermögen stärker entwickelt. In den folgenden Jahren nimmt das Vermögen nicht weiter zu, sondern nur die Kenntnisse.

“In der Folge der Jahre höret aber die Zunahme der Vermögen auf, wenn gleich die Kenntnisse im Wachsen noch fortfahren. Die Einsichten vermehren sich noch lange in dem Mannesalter, ohne dass die Verstandesvermögen selbst an innerer absoluten Stärke, die sich zeigen müsste, wenn das Vermögen auf ganz neue Objekte verwendet würde, merklich größer werden sollten.“ (Tetens, 1777)

Tetens postuliert weiter, dass das absolute Vermögen ebenso wie die Seh- und Hörfähigkeit nach der Jugend ein Maximum erreicht und von dort an wieder abnimmt. Das Modell von Tetens kann somit als Vorläufermodell eines Zweikomponentenmodells der Intelligenz betrachtet werden.

Empirisch stützen sich Zweikomponentenmodelle auf die unterschiedlichen Altersgradienten zweier Komponenten: Den Fähigkeiten, welche mit zunehmendem Alter abnehmen, wie z.B. Denkvermögen, räumliches Vorstellungsvermögen oder Wahrnehmungsgeschwindigkeit. Fähigkeiten sind vor allem bei der Bewältigung von neuartigen Aufgaben notwendig. Dem stehen die Fertigkeiten gegenüber, welche mit zunehmendem Alter stabil bleiben, sowie Wortschatz, Wissensbestand und Kopfrechnen (Lindenberger, 2007). Fertigkeiten zeichnen sich dadurch aus, dass sie sich durch Übung automatisieren lassen. Die Komponenten sind jedoch nicht völlig getrennt voneinander zu betrachten, so ist z. B. denkbar, dass Fähigkeiten den Aufbau von Fertigkeiten begünstigen oder auch verhindern.

Im Rahmen von Theorien, welche der standardisierten Erfassung von intellektuellen Leistungen dienen sollten, unterschieden Cattell und Horn (1967; siehe auch Horn, 1968; Cattell, 1980) zwei Intelligenzfaktoren – die fluide

Intelligenz (Gf) und die kristalline Intelligenz (Gc). Mit der Formulierung der Gf/Gc-Theorie trugen sie wesentlich dazu bei, die Unterscheidung zwischen alterungsanfälligen und alterungsresistenten Leistungen voranzutreiben. Die fluide Intelligenz ist – wie auch die Fähigkeiten - eng mit der Leistungsfähigkeit des neurophysiologischen Apparates verknüpft und äußert sich in grundlegenden Prozessen der Informationsverarbeitung wie Wahrnehmungsgeschwindigkeit, logischem Denken oder räumlichem Vorstellungsvermögen. Es handelt sich also um weitestgehend inhaltsfreie Verarbeitungsprozesse, welche flexibel an verschiedene Anforderungen angepasst werden können. Die kristalline Intelligenz, welche den Fertigkeiten gleichzusetzen ist, vereinigt hingegen im Laufe des Lebens erworbene Kenntnisse, also verschiedene Formen des Wissens und Könnens, wie etwa sprachliche Fähigkeiten, kulturgebundenen Wissen, soziale Fertigkeiten und Erfahrungswissen.

Baltes (1987, 1990, 1999) unterscheidet zwischen der Mechanik und der Pragmatik der Intelligenz. Die Mechanik bezieht sich auf die grundlegende Architektur eines informationsverarbeitenden Systems, welche aus kognitiven Basisoperationen besteht, die z.B. bei der Lösung von Induktions- und Klassifikationsaufgaben sowie bei elementaren Gedächtnisoperationen angewendet werden müssen. Die Pragmatik der Intelligenz beschreibt hingegen die kontext- und wissensgebundene Anwendung der Mechanik und umfasst die Aspekte a) allgemeine Systeme des deklarativen und prozeduralen Wissens (z. B. kristalline Intelligenz) b) spezielle Systeme des deklarativen und prozeduralen Wissens (z. B. Expertenwissen) sowie c) Wissen in Bezug auf Fähigkeiten und Fertigkeiten (z. B. Strategien).

Mit zunehmendem Lebensalter verschlechtern sich vor allem Leistungen, welche durch die Mechanik der Intelligenz realisiert werden. Im folgenden Abschnitt soll diskutiert werden, welche Forschungsansätze bestehen, die die Veränderungen in der Mechanik der Intelligenz untersuchen und ein Überblick über die Funktionen gegeben werden, welche mit diesen Leistungsveränderungen assoziiert sind.

## **2.1.2 Ressourcen- vs. prozessorientierte Ansätze**

Ein zentrales Anliegen der Altersforschung ist es, mögliche Ursachen für intellektuelle Leistungsveränderungen zu finden. Dabei lassen sich zwei verschiedene Orientierungen unterscheiden: Die Ressourcenorientierung und die Prozessorientierung (Lindenberger & Schäfer, 2008; Lindenberger & Kray, 2005).

### **2.1.2.1 Ressourcenorientierte Ansätze**

Die Ressourcenorientierung versucht, altersbedingte Veränderungen auf eine möglichst kleine Anzahl von (theoretischen) Faktoren zurückzuführen. Dabei spielen vor allem drei Konstrukte eine zentrale Rolle, welche im Folgenden erläutert werden. Vorteil dieses Ansatzes ist die Sparsamkeit, der Nachteil liegt darin, dass Ergebnisse aus neuropsychologischen und kognitionspsychologischen Untersuchungen oft nicht mit dem Ansatz in Einklang zu bringen sind.

#### **Informationsgeschwindigkeit**

Die Theorie der allgemeinen Verlangsamung der Informationsgeschwindigkeit (Birren, 1974; Cerella, 1990; Salthouse, 1996) postuliert, dass im Alter die Geschwindigkeit nachlässt, mit der elementare kognitive Operationen ausgeführt werden können. Durch die niedrigere Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung ergibt sich eine höhere Dauer des Gesamtverarbeitungsprozesses, infolge dessen es unter Umständen zum Zerfall der vorgeschalteten mentalen Operationen kommt, was eine Problemlösung unmöglich machen kann. Die Informationsgeschwindigkeit ist aber vermutlich keine einheitliche Ursache oder unabhängige Komponente von Altersveränderungen sondern ein zusammengesetztes Maß unterschiedlicher Prozesse. So ist es bisher nicht gelungen, ein einheitliches biologisches Korrelat zu identifizieren (Bashore, Ridderinkhof & van der Molen, 1997; Wickett & Vernon, 1994; Bugg, Zook, DeLosh, Davalos & Davis, 2006).

#### **Arbeitsgedächtnis**

Eine weitere Determinante, welche im Fokus der ressourcenorientierten Forschung steht, ist das Arbeitsgedächtnis (Hasher & Zacks, 1988). Das

Arbeitsgedächtnismodell wurde von Baddeley & Hitch (1974) entwickelt und ist ein Modell multipler Komponenten. In der ursprünglichen Version gliedert sich das Modell in drei Komponenten. Die „zentrale Exekutive“ ist ein übergeordnetes Kontrollsystem, das selbst keine Informationen speichert, sondern lediglich zielgerichtet verarbeitet und den Einsatz von Ressourcen regelt. Die Informationen werden in zwei modalitätsspezifischen Subsystemen aufrechterhalten. Hier werden die „phonologische Schleife“ zur Speicherung verbal-phonologischen Materials und der „visuell-räumliche Notizblock“ zur Aufrechterhaltung visuell-räumlicher Informationen unterschieden. Baddeley führte im Jahr 2000 eine weitere Komponente, den episodischen Puffer, ein (Baddeley, 2000). Das Arbeitsgedächtnis beschreibt die Fähigkeit, Informationen aufrecht zu erhalten und zu manipulieren, um somit zielgerichtetes Handeln und Denken zu ermöglichen, diese Ressource ist von begrenzter Kapazität.

Da das Arbeitsgedächtnis aus verschiedenen Komponenten besteht, ist es schwierig, dieses als basale Determinante für die kognitiven Veränderungen im Alter zu betrachten (Kray & Lindenberger, 2007). Jedoch konnte nachgewiesen werden, dass Ältere Leistungsdefizite in Arbeitsgedächtnisaufgaben zeigen (Wingfield, Stine, Lahar & Aberdeen, 1988; Schneider-Garces et al., 2010).

### **Inhibition und Hemmung**

Abschließend ist das Konstrukt der Inhibition oder Hemmung zu nennen, welches als kritische Komponente für Altersveränderungen aus Sicht der Ressourcenorientierung gilt. Mit Inhibition ist die Unterdrückung von (präpotenten, reflexartigen oder impulsiven) Handlungen, Gedanken und Emotionen gemeint. In einigen Studien konnte gezeigt werden, dass sich die Effektivität dieser Hemmungsprozesse über die Lebensspanne verändert (z.B. Hasher & Zacks, 1988; Dempster & Corkill, 1999; Mayr & Liebscher, 2001), was zu der Schlussfolgerung führte, dass die mangelnde Fähigkeit zur Inhibition zentrale Ursache für kognitive Altersveränderungen ist. Methodisch schwierig ist jedoch die Separierung von Hemmung und Aktivierung (Kok, 1999). Das theoretische Konstrukt der Inhibition ist zudem nicht klar umrissen (MacLeod, Dodd, Sheard, Wilson & Bibi, 2003). So ist zwischen neuronaler und kognitiver Inhibition zu unterscheiden. Unter neuronaler Inhibition versteht man die in neuronalen Netzen stattfindenden Hemmmechanismen zwischen Neuronen. Auf

Ebene der kognitiven Inhibition gibt es wiederum zahlreiche Ansätze, um das theoretische Konstrukt der kognitiven Inhibition zu definieren (Dempster, 1992; Harnishfeger & Bjorklund, 1994; Nigg, 2000; Friedmann & Miyake, 2004).

### **2.1.2.2 Prozessorientierte Ansätze**

Im Gegensatz zu ressourcenorientierten Ansätzen versucht die Prozessorientierung (neuro-)biologische Korrelate von Altersveränderungen, welche sich auf der Verhaltensebene zeigen, zu finden. Dabei werden Methoden aus der kognitiven Neurowissenschaft herangezogen. Im Fokus des Interesses steht, inwiefern anatomische, neurochemische und funktionale Veränderungen des Gehirns mit Altersunterschieden im Verhalten zusammenhängen (Kray & Lindenberger, 2007).

In neurochemischer Hinsicht steht die Abnahme von Dopaminrezeptoren im Vordergrund (Volkow et al., 1996). Zudem geht der Alterungsprozess mit einer allgemeinen Abnahme von verschiedenen Neurotransmittern einher, wobei die Dopaminreduktion im Vordergrund steht (Bäckman, Lindenberger, Li & Nyberg, 2010).

Hinsichtlich neuroanatomischer Veränderungen ist vor allem die altersbedingte Volumenreduktion in frontalen Hirnbereichen und den mit diesem Bereich verknüpften Basalganglien zu nennen (Raz, 2000; Rypma & D'Esposito, 2000; Cabeza, 2001; Schuster, Essig & Schröder, 2011). Diese Ergebnisse decken sich mit den Ergebnissen von Studien, die zeigen konnten, dass sich mit zunehmendem Alter vor allem kognitive Funktionen verschlechtern, welche in diesen Bereichen realisiert werden (Ridderinkhof, Wildenberg, Segalowitz & Carter, 2004; Bäckman et al., 2010; MacPhearson, Phillips & Della Sala, 2002). Dazu gehören neben Gedächtnisleistungen vor allem Funktionen der kognitiven Kontrolle. Diese Funktionen werden gemeinhin als exekutive Funktionen bezeichnet.

## **2.2 Exekutive Funktionen**

Herr M. fährt jeden Morgen auf dem gleichen Weg zur Arbeit. Heute Morgen hat er einen Arzttermin und muss eine andere Strecke fahren. Als er auf den Parkplatz seiner Arbeitsstelle fährt, fällt ihm auf, dass er automatisch den

vertrauten Weg gewählt hat. Durch den immer gleichen Ablauf ist die Fahrt zur Arbeit zu einer starken Handlungstendenz geworden.

Die Durchsetzung intentionaler Verarbeitung (den Weg zum Arzt fahren) gegenüber nichtintentionalen Handlungstendenzen wird den exekutiven Funktionen zugeschrieben. Der Begriff der exekutiven Funktionen (oder auch Kontrollfunktionen) lässt sich schwer eingrenzen. Oft werden handlungsassoziierte Funktionen, Planung, logisches Denken oder allgemein aufmerksamkeitsbasierte kognitive Prozesse unter diesem Begriff zusammengefasst. Eine allgemein akzeptierte Definition gibt es bisher nicht.

In den frühen theoretischen Modellen wurden die exekutiven Funktionen als eine zentrale Steuerinstanz betrachtet. Ein einflussreiches theoretisches Modell, welches in Zusammenhang mit der Erforschung exekutiver Funktionen häufig genannt wird (Miyake et al., 2000; Logan, 2004), ist das Multiple-Komponenten Modell von Baddeley und Hitch (1974). Die „zentrale Exekutive“ wird in diesem Modell als eine generelle Verarbeitungsressource mit begrenzter Kapazität umrissen.

Ein weiterer Versuch, die Mechanismen der exekutiven Kontrolle zu erklären, ist das Modell zur Aufmerksamkeitskontrolle von Norman und Shallice (1986). In diesem Modell ist für die willkürliche Ausrichtung der Aufmerksamkeit das „Supervisory Attentional System“ (SAS) verantwortlich, welches mit der zentralen Exekutive in dem Modell von Baddeley und Hitch vergleichbar ist. Nach Ansicht der Autoren verfügt das SAS über begrenzte Aufmerksamkeitsressourcen und kann Handlungen kontrollieren.

Die beiden Modelle sind aber nicht in der Lage zu erklären, welche Mechanismen den einzelnen Kontrollfunktionen zugrunde liegen (Goschke, 2000). In faktorenanalytischen Untersuchungen konnte ebenfalls kein gesamtverantwortlicher Faktor festgestellt werden, weswegen die Existenz einer zentralen Exekutive oft angezweifelt und die Sichtweise favorisiert wird, dass exekutive Kontrolle aus einer Reihe zusammenhängender elementarer Funktionen besteht, die miteinander in Wechselwirkung treten (Miyake et al., 2000).

Allerdings besteht kein Konsens über die subsumierten Funktionen - sowohl die Terminologie als auch die Anzahl betreffend. Unklarheit besteht auch durch die Paradigmen, welche zur Erforschung von unterschiedlichen exekutiven

Funktionen herangezogen werden. So ist häufig nicht genau spezifiziert, was eine Aufgabe misst und was nicht.

Miyake et al. (2000) konnten in einer faktorenanalytischen Untersuchung nachweisen, dass drei häufig postulierte exekutive Funktionen zumindest statistisch unabhängig voneinander sind:

- „Shifting“: Das Wechseln zwischen multiplen Aufgaben, Operationen oder mentalen Reiz-Reaktions-Verknüpfungen
- „Updating“: Die Aktualisierung und Überwachung von Repräsentationen aus dem Arbeitsgedächtnis
- „Inhibition“: Die Unterdrückung dominanter, automatischer oder voraktivierter Antworten

Smith und Jonides (1999) zählen folgende Prozesse zu den exekutiven Funktionen, wobei sie betonen, dass kein Konsens über die Taxonomie besteht:

- „Attention and Inhibition“: Die Fokussierung der Aufmerksamkeit auf relevante Informationen und Prozesse und Inhibition der irrelevanten Informationen und Prozesse
- „Task-Management“: Die Koordination von Prozessen in komplexen Aufgaben, was auch den Wechsel des Aufmerksamkeitsfokus zwischen Aufgaben beinhaltet
- „Planning“: Planung einer Sequenz von Sub-Aufgaben, um ein Ziel zu erreichen
- „Monitoring“: Die Überprüfung und Aktualisierung von Inhalten des Arbeitsgedächtnisses
- „Coding“: Codierung der Repräsentationen aus dem Arbeitsgedächtnis nach Ort und Zeit ihres Auftretens

Eine Metaanalyse von Packwood, Hodgetts und Tremblay (2011) konnte aus der Literatur von 60 Studien 18 Subkomponenten der exekutiven Funktionen extrahieren. Die am häufigsten genannten Funktionen sind dabei folgende:

- Planen („Planning“)
- Arbeitsgedächtnis („Working Memory“)
- Inhibition („Inhibition“)
- Aufgabenwechsel („Set Shifting“)
- Wortflüssigkeit („Fluency“)

Insgesamt ist das theoretische Konzept der exekutiven Funktionen also sehr heterogen. Inhibitorischen Mechanismen wird allerdings eine zentrale Rolle in den exekutiven Funktionen zugeschrieben, insbesondere bei der Unterdrückung nichtintentionaler Handlungstendenzen aber auch bei der Aktualisierung von Inhalten des Arbeitsgedächtnisses und dem Wechsel zwischen Handlungszielen. Allgemein kann man die Fähigkeit zur Inhibition als Widerstandsleistung gegen Störprozesse (Interferenz) betrachten. Im Folgenden soll das Paradigma vorgestellt werden, welches in der vorliegenden Studie verwendet wurde, um Prozesse der Interferenzverarbeitung zu untersuchen.

## 2.3 Paradigma

In der vorliegenden Studie wurde eine Kombination der Stroop-Aufgabe mit dem Aufgabenwechsel-Paradigma verwendet (Stroop-Switch-Aufgabe). Im Folgenden soll ein kurzer Überblick über den theoretischen Hintergrund und bisherige Forschungsergebnisse gegeben werden.

### 2.3.1 Stroop-Aufgabe

Die Stroop-Aufgabe (Stroop, 1935) ist eine der am häufigsten verwendeten Aufgaben zur Untersuchung der Interferenzverarbeitung. In der Stroop-Aufgabe sollen die Probanden die Farbe eines Farbwortes (bivalenter Stimulus) benennen. Dabei kann die Farbe und die Wortbedeutung kongruent sein (z.B. **rot**) oder inkongruent – also nicht übereinstimmend (z.B. **grün**). In der inkongruenten Bedingung interferiert die Wortbedeutung mit der Benennung der Farbe, was zu längeren Reaktionszeiten und höheren Fehlerraten führt (Stroop-Interferenz). Die Farbe erzeugt hingegen keine (oder wenig) Interferenz beim Lesen des Wortes (asymmetrische Interferenz). Zur Erklärung dieses Effekts wurden verschiedene Theorien formuliert.

In der 2-Prozess-Theorie wird zwischen automatischer und kontrollierter Verarbeitung unterschieden (Posner & Snyder, 1975; Schneider & Shiffrin, 1977; Shiffrin & Schneider, 1977). Automatische Verarbeitung findet bei Prozessen statt, welche in starkem Maß eingeübt sind (Lesen) und tritt unabsichtlich auf – also auch unabhängig von der Intention oder dem bewussten Ziel. Automatische

Prozesse benötigen also im Gegensatz zu kontrollierten Prozessen keine Aufmerksamkeit.

Logan (1988) verbindet die Theorie der automatischen Verarbeitung mit Gedächtnisprozessen. Wird eine Aufgabe bearbeitet, so wird eine Gedächtnisspur in Form einer Reiz-Reaktions-Verknüpfung gebildet. Mit zunehmender Häufigkeit der Aufgabebearbeitung steigt so die Wahrscheinlichkeit, dass Stimuluseigenschaften zu einer automatischen Antwortaktivierung führen.

Die Unterscheidung zwischen automatischer und kontrollierter Verarbeitung ist häufig kritisiert worden. So produzieren selbst hoch geübte Tätigkeiten Interferenz, wenn sie parallel zu einer anderen Aufgabe bearbeitet werden sollen (Pashler, Johnston & Ruthruff, 2001).

Im Modell der parallelen Informationsverarbeitung (Cohen, Dunbar & McClelland, 1990) wird die Sichtweise favorisiert, dass automatische und kontrollierte Verarbeitung die Extrempunkte eines Kontinuums darstellen. So postuliert das Modell eine gleichzeitige Verarbeitung von Informationen durch Aktivierung verschiedener Verarbeitungsbahnen, welche aus Modulen bestehen, die miteinander verknüpft sind. Verarbeitungsbahnen, welche häufig genutzt werden (Lesen), bilden stärkere Verknüpfungen (dominante Verknüpfungen) aus als solche, welche weniger häufig genutzt werden (Farbe benennen). Interferenz entsteht, wenn zwei Verarbeitungsbahnen sich an einem Modul kreuzen, dies führt zur Beeinträchtigung einer oder beider Verarbeitungsbahnen (Cohen et al., 1990). Interferenz kann demnach an unterschiedlichen Stellen der Verarbeitung entstehen und kognitive Kontrolle ist notwendig, um die Aufgabe erfolgreich zu lösen.

Ein kritischer Faktor, welcher das Ausmaß an Stroop-Interferenz moduliert, scheint dabei die Aufrechterhaltung der Handlungsintention zu sein (Kane & Engle, 2003). So konnte Harvey (1984) in einer abgewandelten Stroop-Aufgabe zeigen, dass sich die Stroop-Interferenz verringert, wenn vor der Präsentation des Stimulus ein Hinweisreiz gegeben wurde, welcher die relevante Stimulusdimension anzeigt.

Dieses Ergebnis wird durch einen weiteren Befund gestützt. Logan und Zbrodoff (1979) variierten den Anteil inkongruenter Stimuli in einem Aufgabenblock, vor jedem Block wurden die Versuchspersonen über den Anteil inkongruenter Stimuli

informiert. Es zeigte sich, dass die Stroop-Interferenz bei einem Anteil von 80% inkongruenter Stimuli geringer war als bei einem Anteil von 50%.

Kane und Engle (2003) fanden, dass bei einem geringen Anteil inkongruenter Durchgänge vor allem die Fehlerrate für diese Durchgänge höher war als bei einem hohen Anteil inkongruenter Durchgänge. Dies interpretierten sie als mangelnde Aufrechterhaltung der Handlungsintention im Arbeitsgedächtnis. Interferenz durch den bivalenten Stimulus kann erst entstehen, wenn die Handlungsintention aufrechterhalten wird. Dies führt dann zu einer Antwortverzögerung in inkongruenten Durchgängen. Demnach wird die Interferenz in der Stroop-Aufgabe durch (mindestens) zwei verschiedene Prozesse moduliert:

1. Interferenz bei der Aufrechterhaltung der Handlungsintention und
2. Interferenz durch die Aktivierung unterschiedlicher Reaktionen (Konflikt zwischen zwei Reiz-Reaktions-Verknüpfungen) ausgelöst durch den bivalenten Stimulus.

Die Stroop-Aufgabe bietet also die Möglichkeit, Interferenz auf verschiedenen Ebenen der Informationsverarbeitung zu erzeugen und zu untersuchen.

### **2.3.2 Aufgabenwechsel**

Ein Paradigma, welches ebenfalls konkurrierende Reiz-Reaktions-Verknüpfungen und häufig auch bi- oder multivalente Stimuli beinhaltet, ist das Aufgabenwechsel-Paradigma. Das Prinzip einer Wechselaufgabe besteht darin, die Leistungen von Probanden in zwei Bedingungen zu vergleichen: Einer Bedingung, in der die vorangegangene Aufgabe dieselbe war (eine Aufgabenwiederholung), und einer Bedingung, in der die vorangegangene Aufgabe eine andere war (ein Aufgabenwechsel). Die Differenz in den Reaktionszeiten und Fehlerraten zwischen Aufgabenwechsel und Wiederholung werden als Wechselkosten bezeichnet (Meiran, 1996; Rogers & Monsell, 1995; Hommel, 2002). Häufig werden bi- oder multivalente Stimuli eingesetzt, die mit zwei oder mehr Aufgabenregeln verknüpft sind. So entstehen – wie auch in der Stroop-Aufgabe – überlappende Reiz-Reaktions-Verknüpfungen. Vergleiche der Wechselkosten bei bivalenten Reizen und bei univalenten Reizen (also Reizen, die nur mit einer Regel assoziiert sind) zeigen größere Wechselkosten bei

bivalenten Reizen als bei univalenten Reizen (Jersild, 1927; Allport, Styles & Hsieh, 1994; Mayr, 2001).

Um die Wechselkosten genauer zu untersuchen und zu erklären, wurden zahlreiche Arten der Sequenzabfolge von Wiederholungs- und Wechseldurchgängen untersucht (für einen Überblick siehe Kiesel et al., 2010).

In den ersten Studien zum Aufgabenwechsel wurde die Leistung in Blöcken mit einem Wechsel nach jedem Durchgang (ABAB Sequenz) mit der Leistung in Blöcken mit nur einer Aufgabe (AAA oder BBB) verglichen (Jersild, 1927). Die Bearbeitung der Aufgaben aus einer heterogenen Liste dauerte länger als die Bearbeitung der Aufgaben aus einer homogenen Liste.

Spector und Biedermann (1976) konnten feststellen, dass die Wechselkosten sanken (also die Reaktion bei einem Aufgabenwechsel schneller war), wenn die Versuchspersonen einen Hinweisreiz erhielten, der im Voraus ankündigte, welche Aufgabe ausgeführt werden sollte. Sie interpretierten das Ergebnis dahingehend, dass die Wechselkosten einen Gedächtnisprozess widerspiegeln, nämlich den Abruf der relevanten Aufgabe.

Allport et al. (1994) sahen die Ursache der Wechselkosten in proaktiver Interferenz: Die Wechselkosten entstehen als Folge der Verlängerung der Stufe der Reaktionsauswahl aufgrund von Interferenz. Die im vorhergehenden Durchgang aktivierte Reiz-Reaktions-Verknüpfung (Task-Set) bleibt auch noch im folgenden Durchgang aktiviert und interferiert im Falle eines Aufgabenwechsels mit dem aktuellen Task-Set, was eine erhöhte Reaktionszeit zur Folge hat. Hier entsteht Interferenz also nicht aufgrund von gleichzeitig aktivierten Reiz-Reaktions-Verknüpfungen, sondern durch die anhaltende Aktivierung einer Verknüpfung aus dem vorangehenden Durchgang.

Rogers und Monsell (1995) postulierten, dass die Wechselkosten auch auf eine höhere Arbeitsgedächtnisbelastung zurückzuführen sein könnten, wenn Blöcke, in denen die Aufgabe immer wiederholt wird (Single) mit Blöcken verglichen werden, in denen ein Wechsel stattfindet (Switch). In den Single-Blöcken muss nur eine einzige Reiz-Reaktions-Verknüpfung aktiv gehalten werden, während in den Switch-Blöcken mindestens zwei Reiz-Reaktions-Verknüpfungen gleichzeitig aktiv gehalten werden müssen. So benötigen Versuchspersonen länger für eine Aufgabenwiederholung in einem gemischten Block als für eine Aufgabenwiederholung in einem Block mit nur einer Aufgabe (Fagot, 1994).

Dieser Unterschied wird als Mischkosten oder „mixing cost“ bezeichnet. In einigen Studien zeigt sich die Interferenz von überlappenden Reiz-Reaktions-Verknüpfungen durch bivalente Reize vor allem in den Mischkosten (Rubin & Meiran, 2005; Steinhauser & Hübner, 2007).

Um diese Konfundierung zu vermeiden, führten Rogers & Monsell das Alternating-Runs-Paradigma ein, in dem Aufgabenwiederholungen und Aufgabenwechsel innerhalb eines Blocks nach dem Schema AABBAABB... bearbeitet werden sollten. Die Wechselkosten wurden berechnet, indem die Reaktionszeiten von Aufgabenwechseln (AB, BA) und –wiederholungen (AA, BB) innerhalb eines Blockes verglichen wurden. Um zu untersuchen, welchen Effekt die Vorbereitung auf die Wechselkosten hat, wurde das Intervall zwischen der Reaktion der vorherigen Trials und der nachfolgenden Stimulusdarbietung variiert. Die Autoren stellten fest, dass sich die Wechselkosten bis zu einer Vorbereitungszeit von etwa 500 Millisekunden um ein Drittel reduzierten. Eine weitere Erhöhung der Vorbereitungszeit führte nicht zu einer weiteren Reduktion der Wechselkosten. Es bleiben also so genannte residuale Wechselkosten bestehen. Aufgrund dieses Befundes unterschieden Rogers und Monsell (1995) zwei Komponenten der Wechselkosten: Die endogene Komponente beinhaltet eine intentionale aber unvollständige Task-Set-Rekonfiguration, die schon vor Erscheinen des imperativen Stimulus ablaufen kann. Die exogene Komponente spiegelt die residualen Wechselkosten wider und wird erst durch das Erscheinen des imperativen Stimulus ausgelöst.

Somit geht der Anteil der Wechselkosten, der durch Vorbereitung reduziert wird, auf die endogene Komponente zurück. Die auch nach langer Vorbereitung übrig gebliebenen residualen Wechselkosten gehen dagegen auf die exogene Komponente zurück (Rogers & Monsell, 1995).

### **2.3.3 Kombination der beiden Aufgaben: Stroop-Switch-Aufgabe**

In der vorliegenden Studie wurden Stroop-Aufgabe und Aufgabenwechsel-Paradigma kombiniert. In der verwendeten Aufgabe wechselt die relevante Dimension (Wortbedeutung oder Farbe), auf welche die Versuchsperson reagieren soll. Diese Kombination bietet zum einen die Möglichkeit, Interferenz-Effekte auf verschiedenen Stufen der Informationsverarbeitung zu untersuchen.

So kann zum einen Interferenz bei der Vorbereitung auf die Aufgabe (im CTI = Cue-Target-Intervall), als auch nach Erscheinen des Zielreizes untersucht werden.

Durch die Kombination der Paradigmen entsteht zum anderen eine höchst anspruchsvolle Aufgabe, welche es erlaubt, selbst geringe Effekte der Altersveränderungen auf Ebene der exekutiven Funktionen zu untersuchen.

Die Ergebnisse und theoretischen Konstrukte der Studien zum Aufgabenwechsel lassen sich mit den Studien zur Stroop-Aufgabe und den damit verknüpften Theorien gut in Einklang bringen. In beiden Paradigmen führt ein Hinweisreiz (Cue) mit anschließender Vorbereitung zu Interferenzreduktion (Harvey, 1984; Rogers & Monsell, 1995). Diese Interferenzreduktion wird als Aufrechterhaltung der Handlungsintention bzw. als endogene Komponente der Task-Set-Rekonfiguration gesehen und mit Arbeitsgedächtnisprozessen in Verbindung gebracht.

Jedoch bleibt in der Stroop-Aufgabe (inkongruente Reize) sowie beim Aufgabenwechsel Interferenz auch nach Vorbereitung auf die Aufgabe bestehen. Diese kann am besten durch konkurrierende Reiz-Reaktion-Verknüpfungen erklärt werden, welche durch den bivalenten Stimulus aktiviert werden, was zu Interferenz bei der Reaktionsauswahl führt.

## **2.4 Ereigniskorrelierte Potentiale**

Da alle kognitiven Funktionen durch bioelektrische Signale im Gehirn realisiert werden, lassen sie sich mit Hilfe geeigneter Messverfahren detaillierter untersuchen. Bildgebende und elektrophysiologische Verfahren bieten die Möglichkeit, den Zusammenhang zwischen beobachtbarem Verhalten und der neuronalen Aktivität in bestimmten Hirnregionen nachzuweisen und genauer zu untersuchen (für eine Übersicht siehe Pritzel, Brand & Markowitsch, 2003). Ein Verfahren, welches sowohl nichtinvasiv ist, als auch eine hohe zeitliche Auflösung besitzt, ist das Elektroenzephalogramm (EEG) und die daraus extrahierten ereigniskorrelierten Potenziale (EKP). Die EKP ermöglichen eine Analyse der nicht direkt beobachtbaren kognitiven Teilprozesse, welche dem beobachtbaren Verhalten vorausgehen und somit auch die Aufdeckung kompensatorischer Verarbeitungsstrategien (Rüsseler & Münte 2005, siehe auch

Reuter-Lorenz & Cappell, 2008 für einen Überblick über die „Kompensationshypothese“).

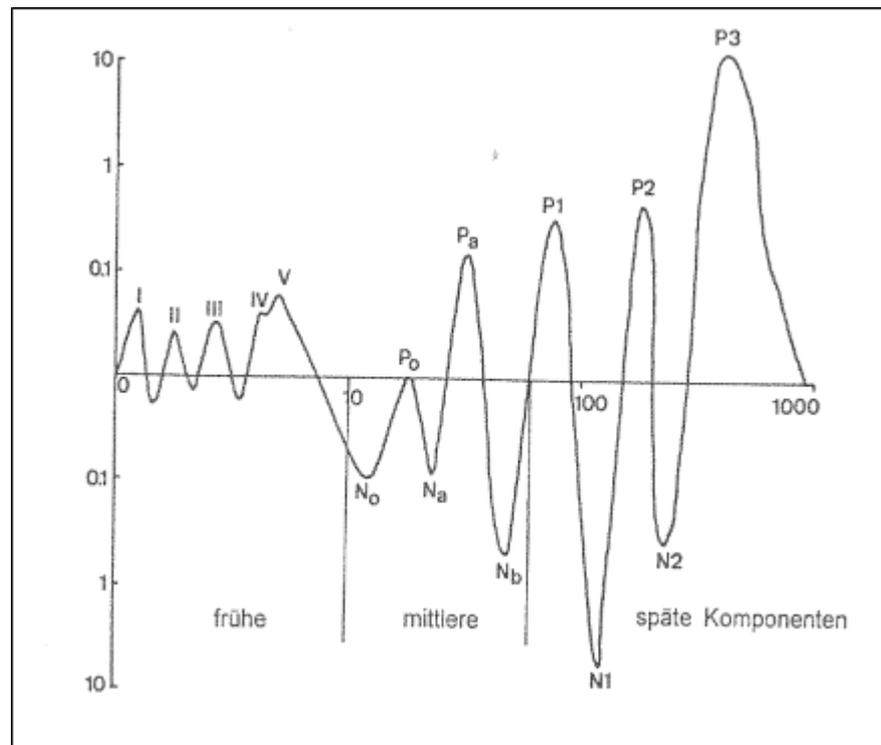
An der Kopfhaut sind (in abgeschwächter Form) elektrische Signale messbar, welche durch die Aktivität kortikaler Nervenzellen entstehen. Die Quelle dieser Spannungsschwankungen – also Potentialverschiebungen - ist die synchrone Hyper- und Depolarisation ausgedehnter kortikaler Neuronenareale (Falkenstein, 1997; Gajewski, Wild-Wall, Hoffmann & Falkenstein, 2009).

Allgemein spricht man von ereigniskorrelierten Potentialen (EKP) als reiz- oder reaktionsevozierte Spannungsveränderungen des Gehirns. Sie werden aus dem EEG extrahiert, indem man bestimmte Abschnitte des EEGs mittelt, welche zeitlich an sensorische, motorische oder kognitive Prozesse gekoppelt sind. So wird die nicht reizgebundene (Spontan)-Aktivität herausgemittelt. Die so gewonnenen spezifischen Wellenabfolgen werden mit der Informationsverarbeitung – bezogen auf den auslösenden Reiz oder die Reaktion – in Verbindung gebracht (Rüsseler & Münte, 2005), wobei die Latenz einer Komponente Aufschluss über die Dauer eines Prozesses liefert, die Amplitude den Grad der Ausprägung widerspiegelt und die Topografie (Verteilung auf der Kopfoberfläche) Rückschlüsse auf beteiligte Hirnstrukturen zulässt (Falkenstein, 1997; Gerloff, 2005).

Bei der Benennung der Komponenten unterscheidet man zwischen zwei verschiedenen Notationen. In beiden Fällen bezeichnen P (positiv) und N (negativ) die Polarität. EKP-Komponenten können entweder nach der Auftretensreihenfolge (erste positive Komponente wird als P1 bezeichnet) oder nach der Latenz (in ms) der maximalen Amplitude (Gipfellatenz, z.B. P300) benannt werden. Allerdings kann sich die Latenz einer Komponente bei komplexen Reizen auch deutlich verzögern, trotzdem wird sie aufgrund ihrer funktionellen Bedeutung weiterhin als z.B. P300 bezeichnet (siehe Picton et al., 2000)

EKP-Kennwerte, welche üblicherweise für die statistische Datenanalyse verwendet werden, sind die Gipfelamplitude (Peak) und –latenz sowie die mittlere Amplitude in einem bestimmten Zeitbereich.

Man unterscheidet zwischen frühen (bis 10 ms), mittleren (10-50 ms) und späten Komponenten (ab 50 ms, Falkenstein, 1997, siehe Abbildung 2).



**Abbildung 2:** Übersicht über die Komponentenstruktur am Ableitort Cz nach einem auditorischen Reiz (aus Falkenstein, 1996)

## 2.5 EKP-Befunde in Stroop-Aufgabe, Aufgabenwechsel und kombiniert (Stroop-Switch)

Im Folgenden soll ein Überblick über die bisherige Forschung gegeben werden, welche mithilfe von bildgebenden Verfahren wie funktioneller Magnetresonanztomografie (fMRT), Positronen-Emissions-Tomografie (PET) und EEG versucht hat, die während der Aufgabenbearbeitung aktivierten Hirnstrukturen und die damit verknüpften Prozesse näher zu durchleuchten. Der Überblick beschränkt sich auf jene Komponenten, welche auch Gegenstand der Untersuchung in der vorliegenden Studie waren.

### 2.5.1 Stroop-Aufgabe

In der Stroop-Aufgabe sind insbesondere Prozesse interessant, welche mit der Bewältigung von Interferenz verknüpft sind, die in der inkongruenten Bedingung entsteht.

Es konnte eine negative EKP-Komponente identifiziert werden ( $N_1$  oder  $N_{450}$ ), welche etwa 300-550 ms nach inkongruenten Stroop-Reizen auftritt (Rebai, Bernard, Lannou, 1997; West & Alain, 1999; Liotti, Woldorff, Perez III & Mayberg, 2000; Coderre, Conklin & van Heuven, 2011; Larson, Kaufman & Perlstein, 2009). Im Folgenden wird die Komponente mit  $N_1$  bezeichnet. Die Topografie variiert mit der Antwortmodalität, bei mündlicher Antwort ist die Negativierung (fronto)central, bei manueller Antwort breiter und mehr parietal verteilt (Liotti et al., 2000). Außerdem wurde eine eher linkshemisphärische Lateralisierung des Potentials festgestellt (Coderre et al., 2011; Liotti et al., 2000). Unklar ist jedoch, ob die Komponente Prozesse der Konfliktwahrnehmung, -verarbeitung oder -auflösung widerspiegelt (Liotti et al., 2000; West, 2004; Coderre et al., 2011; Atkinson, Drysdale & Fulham, 2003). Mithilfe von Dipol-Quellenlokalisierung konnte der anteriore cinguläre Kortex (ACC) als Ursprung der Komponente identifiziert werden (Coderre et al., 2011). Der ACC spielt eine entscheidende Rolle bei der Ausübung von Aufmerksamkeitskontrolle und Konfliktüberwachung (Van Veen & Carter, 2002; Kerns et al., 2004; Milham & Banich, 2005). Die Aufmerksamkeitsprozesse, die ein bestimmtes Verhalten initiieren und ein konkurrierendes unterdrücken, sollen durch den ACC vermittelt werden. Durch die Initiierung richtiger und die Unterdrückung falscher Reaktionen könnte der ACC eine aktive Rolle in kognitiven Prozessen spielen, auch indem er Funktionen anderer Hirnregionen steuert (Paus, 2001).

Die Rolle der frontozentralen  $N_2$  im Stroop-Paradigma ist wenig untersucht. Es wird zwar gemeinhin angenommen, dass die Amplitude der  $N_2$  das Ausmaß an Konflikt widerspiegelt (siehe auch Kopp, 1996), jedoch konnte im Stroop-Paradigma bisher nicht festgestellt werden, dass die  $N_2$  für inkongruente Reize ausgeprägter ist (West et al., 2005). Unklar ist auch, ob die  $N_2$  und die  $N_1$  unterschiedliche Prozesse abbilden. In einigen Fällen tritt die  $N_1$  als distinkter negativer Peak an frontozentralen Elektroden auf, welcher sich auch zeitlich klar von der  $N_2$  abgrenzen lässt und an parietalen Elektroden als Negativierung der  $P_3$  erscheint (Liotti et al., 2000, West & Alain, 2000). In anderen Studien zeigt sich der Effekt der Inkongruenz als eine "Erweiterung" der zentralen  $N_2$  und ist schlecht von dieser abzugrenzen (West & Alain 1999).

Die  $P_3$  ist die wohl am häufigsten untersuchte Komponente und konnte in verschiedenen Paradigmen nachgewiesen werden. Sie besteht aus mehreren

Subkomponenten, häufig findet eine Untergliederung in die beiden Subkomponenten P3a und P3b statt (O'Connell et al., 2012). Die etwas eher auftretende und mehr anterior lokalisierte P3a wird häufig mit Aufmerksamkeitsprozessen (bottom-up – durch Reizeigenschaften bestimmt) verknüpft (O'Connell et al., 2012; Polich, 2007). Die P3b hat ihr Maximum an parietalen Elektroden und wird mit Prozessen der Aktualisierung/Aufrechterhaltung von Arbeitsgedächtnisinhalten (top-down) oder dem Abgleich mit gespeicherten Reizmustern assoziiert (Polich & Criado, 2006). In seiner Übersichtsarbeit schlug Polich (2007) jedoch auch eine integrative Sicht des P3-Komplexes vor. Er sieht den P3-Komplex als Abbild von neuronaler Inhibition ablaufender Prozesse, um die Übertragung von Stimulus- oder Aufgabeninformationen von frontalen (P3a) zu temporal-parietalen (P3b) Arealen zu ermöglichen. Dabei muss zunächst die Aufmerksamkeits-Fokussierung auf den Stimulus relativ zu Arbeitsgedächtnisprozessen gesteigert werden. Infolgedessen erfolgt die Inhibition der Stimulus-Verarbeitung (P3a), um den Transfer der Stimulus-Informationen von frontalen zu temporal-parietalen Arealen zu ermöglichen, um letztlich Arbeitsgedächtnisprozesse (Aufrechterhaltung des Aufgabenkontextes, Speicherung, etc.) zu ermöglichen (P3b).

Duncan-Johnson und Kopell (1980) untersuchten den Effekt von kongruenten und inkongruenten Reizen auf die Latenz der P3 und fanden keinen signifikanten Unterschied zwischen den Bedingungen. Diese Ergebnisse konnten von Ilan und Polich (1999) repliziert werden, wobei sie außerdem keinen Zusammenhang zwischen den Reaktionszeiten und der P3-Latenz feststellen konnten. Sie interpretierten den Befund dahingehend, dass die Interferenz in der Stroop-Aufgabe erst nach der Stimulus-Evaluation (P3) entsteht und auf Stufe der Reaktionsauswahl stattfindet. Gegen diese Annahme spricht jedoch, dass bereits zeitlich eher stattfindende Prozesse (N2, N<sub>i</sub>) durch Interferenz aufgrund von inkongruenten Reizen beeinflusst werden.

## 2.5.2 Aufgabenwechsel

Auch zur Erforschung des Aufgabenwechsel-Paradigmas wurden funktionell bildgebende und elektrophysiologische Verfahren eingesetzt, um zugrundeliegende Prozesse zu untersuchen. Mittlerweile existiert eine Fülle von

Studien, welche das Paradigma in vielfacher Form abgewandelt haben, um die Ursache der Wechselkosten zu untersuchen. Die Ergebnisse sind ebenso vielfältig, Einfluss haben dabei unter anderem die Art der Antwort (Astle, Jackson & Swainson, 2008; Mueller, Swainson & Jackson, 2007) und das Intervall zwischen Antwort und Zielreiz bzw. Hinweisreiz (Cue) und Zielreiz (Nicholson, Karayanidis, Poboka, Heathcote & Michie, 2005; Karayanidis, Coltheart, Michie & Murphy, 2003). Hier gibt es wiederum Studien, welche explizite Hinweisreize verwenden (Swainson, Jackson & Jackson, 2006) andere verwenden das sogenannte Alternating-Runs-Paradigma (Karayanidis et al., 2003; Gajewski et al., 2010a), in welchem eine feste Abfolge erinnert und eingehalten werden muss. In einigen Studien werden sogenannten „Transitions-Reize“ verwendet, welche Wechsel oder Wiederholung ankündigen (Hsieh & Wu, 2011; Forstmann, Brass, Koch & von Cramon, 2005).

### 2.5.2.1 Intervall zwischen Hinweisreiz und Zielreiz

Ziemlich konsistent sind die Ergebnisse in Bezug auf eine positive Komponente über dem centro-parietalen Skalp, welche in verschiedenen Studien unterschiedlich bezeichnet wurde: late parietal positivity (Swainson et al., 2006), switch cost positivity (Karayanidis et al., 2003) oder auch (Cue-)P3 (Gajewski & Falkenstein, 2011). Im Folgenden wird diese Komponente als **CueP3** bezeichnet. Diese CueP3 tritt im Intervall zwischen Hinweisreiz (Cue) und Zielreiz (Target, CTI = Cue-Target-Intervall) mit einem Peak um 500 ms auf und wird mit Prozessen des Abrufs der relevanten Aufgabenregeln und der Task-Set-Rekonfiguration sowie mit der allgemeinen Vorbereitung auf die Aufgabe in Verbindung gebracht, wobei sich mehrere Prozesse überlappen (für eine Übersicht siehe auch Karayanidis et al., 2010). Sie ist bei Aufgabenwechseln stärker ausgeprägt als bei Aufgabenwiederholungen (Kieffaber & Hetrick, 2005; Moulden et al., 1998; West, Langley & Bailey, 2011; Hsieh & Wu, 2011). Karayanidis et al. (2011a) gehen deshalb davon aus, dass die CueP3 zum einen allgemeine Prozesse der Vorbereitung auf eine Aufgabe widerspiegelt, im Falle eines Aufgabenwechsels jedoch noch spezifische mit dem Wechsel verknüpfte Prozesse, reflektiert.

Die Höhe der Amplitude der CueP3 ist mit der Reduktion der Wechselkosten verknüpft, also mit schnelleren Reaktionen und einer geringeren Fehlerrate (Karayanidis, Provost, Brown, Paton & Heathcote, 2011a). Dabei bestimmt der Informationsgehalt des Cues die Amplitude und das Ausmaß der Reduktion der Wechselkosten. Ein Cue, welcher nur die Information „Aufgabenwechsel“ (Transitions-Cue), nicht aber die für den nächsten Durchgang relevanten Aufgabenregeln beinhaltet, erzeugt eine weniger ausgeprägte positive Amplitude und geringere Reduktion der Wechselkosten als ein Cue, welcher zudem signalisiert, welche Aufgabenregeln im nächsten Durchgang anzuwenden sind (Nicholson, Karayanidis, Davies & Michie, 2006).

Beim einem Vergleich der Wiederholungsdurchgänge aus Blöcken mit nur einer Aufgabe (Single) und gemischten Blöcken (Switch) zeigt sich, dass die CueP3 in den Single-Blöcken geringer ist als in den Aufgabenwiederholungen in gemischten Blöcken (Kray, Eppinger & Mecklinger, 2005; Goffaux, Phillips, Sinai & Pushkar, 2006; Jost, Mayr & Rösler, 2008).

### 2.5.2.2 Nach Erscheinen des Zielreizes

Für die Komponenten, welche nach Erscheinen des Zielreizes (Target) auftreten, wird häufig eine größere frontozentrale Negativierung (**N2**) in Durchgängen mit einem Aufgabenwechsel festgestellt (Lorist et al., 2000; Rushworth, Passingham & Nobre, 2002; Karayanidis et al., 2003; Nicholson et al., 2005; Gajewski, Kleinsorge & Falkenstein, 2010b). Bei Differenzbildung aus den beiden EEG-Wellen (Wechsel minus Wiederholung) zeigt sich diese als eine breite Negativierung im Bereich 200-600 ms nach Stimulus-Onset (Karayanidis, Whitson, Heathcote & Michie, 2011b). Die N2-Komponente wird häufig als Korrelat der Interferenz zwischen Reiz-Reaktions-Verknüpfungen interpretiert (Gajewski et al., 2010b, Rushworth et al., 2002).

Auch im Aufgabenwechsel-Paradigma wurde die **P3** untersucht. Im Gegensatz zur N2 zeigen Untersuchungen der P3 nach Aufgabenwechseln eine geringere Amplitude (Lorist et al., 2000; Rushworth et al., 2002; Karayanidis et al., 2003; Kieffaber & Hetrick, 2005; Nicholson et al., 2005; Goffaux, et al., 2006; Gajewski et al., 2010b; Gajewski & Falkenstein, 2011; Hsieh & Wu, 2011).

Für diese Modulationen existieren verschiedene Erklärungen. Lorist et al. (2000) gehen davon aus, dass bei einer Aufgaben-Wiederholung mehr Ressourcen zur Verfügung stehen, um den Stimulus zu verarbeiten, was sich in einer höheren Amplitude der P3 äußert. Folgt man der Inhibitions-Hypothese von Polich (2007), stehen bei einem Aufgabenwechsel weniger Ressourcen für die Inhibition der Reizverarbeitung und ablaufender Prozesse zur Verfügung.

### **2.5.3 Kombinierte Stroop-Switch-Aufgabe**

Eine kombinierte Version von Stroop-Aufgabe und Aufgabenwechsel wurde erstmalig von Allport, Styles und Hsieh (1994) eingesetzt, um die Effekte beim Wechseln zwischen verschiedenen Reiz-Reaktions-Verknüpfungen (Task-Sets) zu untersuchen. Sie stellten fest, dass die Wechselkosten beim Wechsel hin zur dominanten Wortbenennungs-Aufgabe entstanden, jedoch nicht beim Wechsel zur nichtdominanten Farbbenennungs-Aufgabe. Sie interpretierten diesen Befund so, dass die dominante Reiz-Reaktions-Verknüpfung zuvor gehemmt werden musste und diese Hemmung in der nachfolgenden Aufgabe überwunden werden muss.

#### **2.5.3.1 Intervall zwischen Hinweisreiz und Zielreiz**

MacDonald, Cohen, Stenger und Carter (2000) setzten die kombinierte Stroop-Switch-Aufgabe ein, um mithilfe des fMRT Funktionen des dorsolateralen präfrontalen Kortex' (dorsolateral prefrontal Cortex = DLPFC) und des ACC zu untersuchen. Dabei wurden kongruente und inkongruente Reize präsentiert. Ein Hinweisreiz zeigte im Voraus an, ob die Farbe oder Wortbedeutung die relevante Dimension im folgenden Durchgang war. Sie konnten feststellen, dass der linke DLPFC aktiviert war, wenn ein Cue signalisierte, dass die Farbe im nächsten Durchgang die relevante Dimension darstellt, außerdem konnten sie zeigen, dass Personen, welche die höchste Aktivierung im DLPFC zeigten, die geringste Stroop-Interferenz aufwiesen. Sie interpretierten, dass der DLPFC für die Bereitstellung von Aufmerksamkeitsressourcen also für die kognitive Kontrolle verantwortlich ist. West (2003) untersuchte EKP in einer kombinierten Stroop-Switch-Aufgabe und fand im Intervall zwischen Hinweisreiz und Zielreiz eine parieto-occipital lokalisierte negative Slow-Wave, welche in inkorrekten

Durchgängen größer war als in korrekten. Dieses Ergebnis interpretierte der Autor dahingehend, dass die Komponente nicht – wie von MacDonald et al. dargestellt – einen Prozess der Vorbereitung auf relevante (nicht-dominante) Stimulus-Attribute darstellt, sondern allgemein die Vorbereitung auf eine zielgerichtete Handlung abbildet.

### 2.5.3.2 Nach Erscheinen des Zielreizes

In der Studie von MacDonald et al. (2000) war der ACC in der Bedingung „Farbe benennen“ erst nach Präsentation des inkongruenten Stimulus aktiviert. Außerdem zeigten Personen mit einer höheren Aktivierung des ACC eine größere Stroop-Interferenz. Die Autoren interpretierten den Befund so, dass der ACC bei der Konfliktwahrnehmung aktiviert ist. Etwa 450 ms nach Erscheinen des Stimulus fand West (2003) in der Bedingung „Farbe benennen“ eine negative Komponente ( $N_i$ ), auf inkongruente Reize. Eine Analyse der Quellen zeigte, dass unter anderem der ACC – wie auch bei MacDonald et al. (2000) – Ursprung dieser Aktivität ist. West (2003) sieht die  $N_i$  ebenfalls als Komponente, welche Konfliktwahrnehmung widerspiegelt.

## 2.6 Altersveränderungen in Stroop-Aufgabe, Aufgabenwechsel und kombiniert (Stroop-Switch)

### 2.6.1 Stroop-Aufgabe

West & Alain (2000) untersuchten die Verhaltensdaten und EKP in einer Stroop-Aufgabe bei Jüngeren ( $M = 27,1$  Jahre) und Älteren ( $M = 69,5$  Jahre) und konnten feststellen, dass Ältere nicht nur insgesamt langsamer reagierten, sondern dass die Stroop-Interferenz für sie noch größer war als für Jüngere, d.h. sie zeigten höhere Reaktionszeiten für inkongruente Reize in der Bedingung „Farbe benennen“. Sie stellten außerdem fest, dass die  $N_i$  (hier  $N_{500}$ ) für Ältere signifikant schwächer ausfiel. Sie interpretierten diesen Befund dahingehend, dass Ältere in der Inhibition nicht relevanter Stimulus-Eigenschaften beeinträchtigt sind. In einer Studie mit jüngeren (21-39 Jahre) und älteren (41-61 Jahre) Versuchspersonen (Mager et al., 2007) wurde eine modifizierte Version der Stroop-Aufgabe verwendet. Die Versuchspersonen sollten entscheiden, ob Farbe und Wortbedeutung übereinstimmen. Die Amplitude der  $N_i$  (hier  $N_{450}$ ) war

wie erwartet negativer für inkongruente Stimuli. Hier konnte kein Unterschied in der Amplitude der  $N_i$  zwischen den Gruppen festgestellt werden, die Latenz der  $N_i$  war in der Gruppe der Älteren jedoch größer.

Mager et al. (2007) stellten eine kleinere **P3** (hier P350, 270-400 ms) für die Gruppe der Älteren fest. Außerdem war die Amplitude größer bei kongruenten Reizen.

## 2.6.2 Aufgabenwechsel

Verschiedene altersvergleichende Studien mit dem Aufgabenwechsel-Paradigma konnten belegen, dass Ältere im Vergleich zu Jüngeren höhere Mischkosten zeigen. Für Wiederholungsdurchgänge in gemischten Blöcken brauchen sie (im Vergleich zu Durchgängen in Single-Blöcken) verhältnismäßig mehr Zeit als Jüngere (Kramer, Hahn & Gopher, 1999; Meiran, Perlman & Gotler, 2001; Kray, 2006; Gajewski et al., 2010a).

Eine Erklärung wird darin gesehen, dass Ältere anfälliger gegen Interferenz durch überlappende Reiz-Reaktion-Verknüpfungen sind. So fallen die Mischkosten für Ältere größer aus, wenn die Überlappung größer wird (z.B. bei bivalenten Stimuli, Mayr, 2001; Rubin & Meiran, 2005).

Eine weitere Erklärung hierfür ist, dass Ältere darin beeinträchtigt sind, gleichzeitig mehrere Reiz-Reaktions-Verknüpfungen im Arbeitsgedächtnis aktiv zu halten (Kray & Lindenberger, 2000; Mayr, 2001).

Nicht so eindeutig sind hingegen die Befunde für die Wechselkosten. In einigen Studien wurden keine Unterschiede in der Höhe der Wechselkosten zwischen den Altersgruppen gefunden (Salthouse, Fristoe, McGuthry & Hambrick, 1998; Kray & Lindenberger, 2000; Mayr & Liebscher, 2001, Gajewski et al., 2010a). Andere Studien fanden, dass die Wechselkosten bei Älteren größer waren als bei Jüngeren (Meiran et al., 2001; Kray, Li & Lindenberger, 2002). In einer Studie zeigten die Älteren sogar geringere Wechselkosten als die Jüngeren (Kray, 2006).

### 2.6.2.1 EKP im Intervall zwischen Hinweisreiz und Zielreiz

Bisher wurden nur wenige Studien durchgeführt, welche die EKP Älterer und Jüngerer beim Aufgabenwechsel untersuchen.

Der Vergleich der Potentiale, welche auf den Cue folgen, zeigten sich altersverknüpfte Veränderungen der **CueP3**. In Wiederholungsdurchgängen von gemischten Blöcken entwickelt sich die CueP3 Älterer im Vergleich zu Jüngeren langsamer und zeigt eine eher fronto-parietale Verteilung (West & Travers, 2008; Karayanidis et al., 2011; Gajewski et al., 2010a).

Die CueP3, welche sich in Aufgabenwechseln zeigt, ist bei Älteren weniger stark ausgeprägt (West & Moore, 2005, Karayanidis et al., 2011b).

### 2.6.2.2 EKP nach Erscheinen des Zielreizes

Karayanidis et al. (2011b) stellten nach Erscheinen des Zielreizes eine kleinere **N2** bei Älteren im Vergleich zu Jüngeren fest. Der Unterschied zeigte sich besonders in Aufgabenwechseln des Switch-Blocks.

Die parietale **P3**, welche sich daraufhin entwickelte, war für Ältere breiter über den Skalp verteilt. Es zeigte sich für alle Probanden eine schwächere P3 im einfachen Block im Vergleich zum Switch-Block. Im Switch-Block war die P3 bei Aufgabenwiederholungen schwächer ausgeprägt als bei Aufgabenwechseln. Dieser Unterschied war für Ältere noch größer (Karayanidis et al., 2011b). West und Travers (2008) fanden für die EKP, welche sich nach dem Zielreiz entwickeln, insgesamt höhere Latenzen für Ältere, jedoch keinen Unterschied in der Amplitude.

### 2.6.3 Kombinierte Stroop-Switch-Aufgabe

West (2004) führte eine kombinierte Stroop-Switch-Aufgabe mit Jüngeren und Älteren durch. Wie erwartet zeigten die Älteren eine größere Stroop-Interferenz als die Jüngeren, d.h. höhere Reaktionszeiten und Fehlerraten für inkongruente Reize in der Bedingung „Farbe benennen“. In einer anderen Studie konnte festgestellt werden, dass dieser Effekt noch verstärkt wird, wenn der Anteil inkongruenter Reize niedrig ist (20 %; Eppinger, Kray, Mecklinger & John, 2007).

#### 2.6.3.1 Intervall zwischen Hinweisreiz und Zielreiz

West (2004) verglich die EKP im Switch-Block mit EKP in einfachen Blöcken (nur „Farbe“ oder „Wortbedeutung“). Im einfachen Block zeigte sich nach dem Cue keine P3, wohingegen im Switch-Block eine **CueP3** auftrat, welche keinen

Unterschied zwischen Jüngeren und Älteren zeigte, was die Amplitude betrifft, jedoch eine größere Latenz für die Älteren aufwies. West (2004) interpretierte die CueP3 als Aktualisierung der Repräsentation der relevanten Stimulus-Dimension. Dieser Prozess nimmt bei Älteren mehr Zeit in Anspruch als bei Jüngeren, was zu einer größeren Latenz der CueP3 führt. Außerdem ist der Prozess mit Arbeitsgedächtnis-Prozessen verknüpft. Dieser Befund konnte von Kray et al. (2005) repliziert werden, welche ebenfalls eine altersvergleichende Studie mit einer Stroop-Switch-Aufgabe und einfachen Blöcken durchführten. Sie konnten außerdem eine CueP3 im einfachen Block „Wortbedeutung“ feststellen. Ältere zeigten zudem im Switch-Block und im einfachen Block „Wortbedeutung“ eine breiter verteilte Topographie der CueP3 als Jüngere. Weitere Effekte der Stimulus-Dimension auf die CueP3 wurden nicht gefunden.

### 2.6.3.2 Nach Erscheinen des Zielreizes

Nach Erscheinen des Zielreizes konnte West (2004) eine linkshemisphärische centro-parietale  $N_i$  (hier N450) feststellen, welche bei Jüngeren nicht durch den Block (Single vs. Switch) oder die relevante Dimension beeinflusst wurde – sie zeigten immer eine Negativierung auf inkongruente Reize. Bei Älteren war die  $N_i$  jedoch nur im Switch-Block in der Bedingung „Farbe benennen“ deutlich ausgeprägt. Diesen Befund interpretierte West so, dass Ältere in der Konfliktwahrnehmung beeinträchtigt sind. Kray et al. (2005) fanden eine frontozentrale negative Komponente (ca. 350 ms nach Erscheinen des Zielreizes), die  $N_i$ , deren Amplitude bei inkongruenten Reizen stärker ausgeprägt war als bei kongruenten, jedoch keinen Effekt des Alters zeigte. Die Latenz der  $N_i$  war höher für Ältere und im Switch-Block sowie in der Bedingung „Farbe“. Für Ältere war die Latenz im Switch-Block in der Bedingung „Farbe“ außerdem größer als in der Bedingung „Wortbedeutung“. Der Befund wurde als Prozess der Konfliktauflösung interpretiert, welcher bei Älteren verzögert ist – besonders in der Bedingung, in welcher der Konflikt am größten ist (Switch-Block, Bedingung „Farbe“). In der Studie von Eppinger et al. (2007) wurde die  $N_i$  in zwei Zeitfenstern betrachtet. Im frühen Zeitfenster (300-470 ms) zeigten Jüngere eine stärker ausgeprägte (parietale)  $N_i$  als Ältere. Im späteren Zeitfenster (470-640 ms) zeigte die  $N_i$  ebenfalls eine parietale Topografie und war für die Dimension

Farbe größer als für die Dimension Wortbedeutung. Sie zeigte sich zudem bei Differenzbildung aus Aufgabenwechsel und Aufgabenwiederholung. Die späte Komponente ist also sowohl durch Interferenz ausgelöst durch den Stimulus beeinflusst als auch durch proaktive Interferenz durch das zuvor aktivierte Task-Set. Die  $N_i$  scheint also (ebenso wie die  $N_2$ ) ein Korrelat der Konfliktwahrnehmung/ -verarbeitung zu sein, welches Interferenz durch überlappende Reiz-Reaktions-Verknüpfungen widerspiegelt. In der Bedingung „Farbe“ muss die durch den Stimulus hervorgerufene Reaktion unterdrückt werden. Beim Aufgabenwechsel die Reiz-Reaktions-Verknüpfung des vorangehenden Durchgangs.

## 2.7 Zusammenfassung der relevanten EKP-Befunde

Die **CueP3** tritt in Blöcken mit einem Wechsel der Aufgabe im Intervall zwischen Cue und Stimulus mit einem Peak um 500 ms auf. Sie wird mit Prozessen des Abrufs der relevanten Aufgabenregeln und der Task-Set-Rekonfiguration sowie der allgemeinen Vorbereitung auf die Aufgabe in Verbindung gebracht (Karayanidis et al., 2010) oder mit einer Aktualisierung der Repräsentation der relevanten Stimulus-Dimension (West, 2004). Sie ist bei Aufgabenwechseln stärker ausgeprägt als bei Aufgabenwiederholungen (Kieffaber & Hetrick, 2005; Moulden, et al., 1998; West et al., 2011; Hsieh & Wu, 2011) und die Höhe der Amplitude ist mit einer Reduktion der Wechselkosten verknüpft (Karayanidis et al., 2011a; siehe auch MacDonald et al., 2000). In Blöcken mit keinem Wechsel der Aufgabe ist sie sehr gering (Kray et al., 2005; Goffaux et al., 2006; Jost et al., 2008) oder gar nicht vorhanden (West, 2004). Deshalb wird sie auch oft als Korrelat der Mischkosten gesehen. Für die Amplitude der CueP3 im kombinierten Stroop-Switch-Paradigma wurde in einer Studie kein Unterschied in der Amplitude der CueP3 zwischen Aufgabenwechseln und Aufgabenwiederholungen gefunden (Eppinger et al., 2007). Ältere zeigen eine längere Latenz der CueP3, d.h. die CueP3 entwickelt sich später als bei Jüngeren und zeigt eine frontalerere Verteilung als bei Jüngeren (Kray et al., 2005; West & Travers, 2008; Karayanidis et al., 2011b). Die Amplitude der CueP3 bei Aufgabenwechseln ist bei Älteren kleiner als bei Jüngeren (West & Moore, 2005; Karayanidis et al., 2011b). Noch unklar ist, ob die CueP3 durch die relevante

Stimulus-Dimension beeinflusst wird, also ob im Falle einer kombinierten Stroop-Switch-Aufgabe die dominante Stimulus-Dimension „Wortbedeutung“ im Vergleich zur nicht dominanten Stimulus-Dimension „Farbe“ unterschiedliche Effekte auf die CueP3 zeigt. In der Studie von MacDonald et al. (2000) wurde eine unterschiedliche Topografie der Aktivierung für die Stimulus-Dimensionen „Wortbedeutung“ und „Farbe“ gefunden. Kray et al. (2005) fanden lediglich eine CueP3 im einfachen Block Wortbedeutung jedoch nicht im einfachen Block Farbe.

Sowohl bei einem Aufgabenwechsel als auch bei inkongruenten Stroop-Reizen tritt nach Erscheinen des Zielreizes eine negative Komponente auf (Differenzbildung aus Aufgabenwiederholung-Aufgabenwechsel bzw. kongruent-inkongruent). In der Stroop-Aufgabe tritt die  $N_i$  als Differenzpotenzial zwischen der inkongruenten und der kongruenten Bedingung etwa 300-550 ms nach dem Stimulus auf (Rebai et al., 1997; West & Alain, 1999; Liotti et al., 2000; Coderre et al., 2011; Larson et al., 2009), wobei die Topografie mit der Antwortmodalität und der Art der Aufgabe variiert. Es ist unklar, inwieweit die  $N_i$  ein Korrelat der N2 darstellt (West & Alain, 2000). Bei Aufgabenwechseln wurde die negative Komponente als Korrelat der  $N2$  betrachtet, welche sich bei Differenzbildung (Wechsel – Wiederholung) als breite Negativierung im Bereich 200-600 ms zeigt (Karayanidis et al., 2011b). Der ACC gilt als Ursprung der Negativierung (Coderre et al., 2011; MacDonald et al., 2000), welche mit Prozessen der Konfliktwahrnehmung, -verarbeitung, oder –auflösung in Verbindung gebracht wird (Liotti et al., 2000; West, 2004; Coderre et al., 2011; Atkinson et al., 2003; Kray et al., 2005) oder der Interferenz zwischen Reiz-Reaktions-Verknüpfungen (Gajewski et al., 2010b; Rushworth et al., 2002; Eppinger et al., 2007). In der kombinierten Stroop-Switch-Aufgabe ist die  $N_i$  größer bei Aufgabenwechseln und in der Bedingung Farbe benennen und in Kombination der beiden Bedingungen maximal (Kray et al., 2005). Es ist jedoch unklar, ob die  $N_i$  im Stroop-Paradigma und im Aufgabenwechsel den gleichen Prozess abbilden, da die Interferenz im ersten Fall durch den Stimulus ausgelöst wird und im zweiten Fall durch den vorangehenden Durchgang. Ältere zeigen in einigen Studien eine schwächere  $N_i$  (West & Alain, 2000) oder eine längere Latenz als Jüngere (Mager et al., 2007; Kray et al., 2005). Die N2 bei Aufgabenwechseln ist bei Älteren insgesamt kleiner

als bei Jüngeren und bei Aufgabenwechseln verstärkt sich dieser Effekt (Karayanidis et al., 2011b).

Die **P3**, welche sich ca. 300-600 ms über dem parietalen Skalp entwickelt, wird mit Prozessen der Stimulus-Verarbeitung (Lorist et al., 2000) in Verbindung gebracht oder inhibitorischen Prozessen zugeschrieben, welche ablaufende Aktivität unterdrücken, um die Übertragung von Informationen aus frontalen zu temporal-parietalen Arealen zu ermöglichen (Polich, 2007). Die Amplitude der P3 ist bei Aufgabenwechseln kleiner als bei Aufgabenwiederholungen (Lorist et al., 2000, Rushworth et al., 2002; Karayanidis et al., 2003, Kieffaber & Hetrick, 2005; Nicholson et al., 2005, Goffaux et al., 2006; Gajewski et al., 2010b, Gajewski & Falkenstein, 2011, Hsieh & Wu, 2011). Die Amplitude der P3 ist bei kongruenten und inkongruenten Reizen gleich (Duncan-Johnson & Kopell, 1980; Ilan & Polich, 1999, jedoch siehe Mager et al., 2007 für eine größere P3 bei inkongruenten Reizen). Die Amplitude der Älteren ist (zumindest an parietalen Elektroden) kleiner (Mager et al., 2007) jedoch zeigt sie eine breitere Verteilung über den Skalp (Karayanidis et al., 2011).

Tabelle 1: Tabellarische Übersicht über die relevanten EKP-Komponenten

Komponente	Paradigma	Bedeutung
CueP3	Aufgabenwechsel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abruf relevanter Aufgabenregeln</li> <li>• Task-Set-Rekonfiguration</li> <li>• Allgemeine Vorbereitung</li> </ul>
N2	Aufgabenwechsel und Stroop	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verarbeitung von Interferenz (zwischen Reiz-Reaktions-Verknüpfungen)</li> <li>• Kognitive Kontrolle</li> </ul>
N <sub>i</sub>	Aufgabenwechsel und Stroop (hier oft auch N450)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• möglicherweise Korrelat der N2</li> <li>• Interferenzverarbeitung</li> </ul>
P3	Aufgabenwechsel und Stroop	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stimulus-Verarbeitung</li> <li>• Inhibition der Stimulus-Verarbeitung (P3a)</li> <li>• Inhibition von Aktivität, um Transfer von Stimulus-Informationen zu ermöglichen (P3b)</li> </ul>

## 2.8 Kognitive Plastizität: Einfluss von Trainingsmaßnahmen

Wie in den vergangenen Kapiteln dargestellt wurde, ist der Alterungsprozess mit einer Reihe von kognitiven Veränderungen verknüpft, welche sich mithilfe der Erhebung von Verhaltensdaten aber auch durch die Verknüpfung dieser Daten mit elektrophysiologischen Maßen quantifizieren lassen. Altern ist allerdings kein einheitlicher, interindividuell invarianter Prozess. Vielmehr lässt sich beobachten, dass die Unterschiede zwischen Personen mit steigendem Lebensalter zuneh-

men (Oswald, 2000), d.h. es gibt Ältere, die schlechtere Leistungen in kognitiven Aufgaben zeigen als Jüngere, wiederum gibt es Ältere, deren Leistungen mit den Leistungen Jüngerer vergleichbar sind.

Unter kognitiver Plastizität versteht man allgemein das Potential eines Organismus zur Veränderung, im Speziellen zur Steigerung der Leistung. Dabei unterscheidet man zwischen Veränderungen, welche langfristig sind und alle Individuen einer Gesellschaft betreffen (z.B. bessere Ernährung, Schulbildung) und eher kurzfristigen Veränderungen, welche nur eine kleine Gruppe von Individuen betreffen wie z.B. Veränderungen durch kognitive oder physische Trainingsmaßnahmen. Letztere sind häufig Gegenstand der kognitiven Altersforschung.

In einigen Studien konnte festgestellt werden, dass sich die altersbedingten Verschlechterungen kognitiver Funktionen durch körperliches (Kramer et al., 2003; Colcombe et al., 2004; Kramer & Erickson, 2007; Klusmann et al., 2010) und auch durch kognitives Training (Ball et al., 2000; Basak, Boot, Voss & Kramer, 2008; Kramer & Morrow, in press) kompensieren oder sogar umkehren lassen. Studien, welche Trainingseffekte untersuchen, weisen einige methodische Vor- und Nachteile auf. Auf der einen Seite ist die Stichprobengröße meist nicht besonders groß und die Dauer des Trainings häufig recht kurz. Auch können durch die wiederholte Testung Übungseffekte auftreten, welche das Ergebnis verzerren. Auf der anderen Seite ist sicher zu den Vorteilen zu zählen, dass der Trainingsprozess kontrolliert werden kann, d.h. Art und Dauer des Trainings exakt festgelegt werden können. Im Folgenden soll ein Überblick über den derzeitigen Forschungsstand gegeben werden.

### **2.8.1 Körperliches Training**

Bereits 1975 konnte Spirduso zeigen, dass die Reaktionszeiten älterer Athleten in vielen verschiedenen Aufgaben kürzer waren als die körperlich inaktiver Altersgenossen (Spirduso, 1975). Bis heute haben sich die Erkenntnisse über die positive Wirkung körperlicher Aktivität auf kognitive Leistung beachtlich erweitert. Die Ergebnisse sind jedoch recht uneinheitlich: Einige Studien zeigen deutliche Effekte des körperlichen Trainings auf die Kognition (Dustman et al., 1984; Dustman, Emmerson, & Shearer, 1994; Colcombe et al., 2004; Lautenschlager et

al., 2008; Baker et al., 2010), jedoch variieren Art und Dauer des Trainings sowie die Stichproben stark. Es gibt wiederum auch Studien, welche keine Effekte fanden (z.B. Hill, Storandt, und Malley, 1993). Im Bereich des körperlichen Trainings sind neben Trainingsstudien auch viele Beobachtungsstudien zu finden, welche einen Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und kognitiven Leistungen bei Älteren herstellen konnten. So fanden z.B. Larson et al. (2006), dass für Senioren, welche 65 Jahre und älter waren, die Wahrscheinlichkeit eine Demenz zu entwickeln um 34 % geringer war, wenn diese mindestens dreimal in der Woche körperlich aktiv waren (Schwimmen, Wandern, Fahrradfahren, etc.). Da durch diese Studien jedoch kein Kausal-Zusammenhang hergestellt werden kann, wird der Überblick in dieser Arbeit auf kontrollierte Trainingsstudien beschränkt.

Experimentelle Untersuchungen, in welchen die Teilnehmer randomisiert unterschiedlichen Bedingungen körperlicher Aktivität zugewiesen wurden, liefern uneinheitliche Ergebnisse. Die Ergebnisse lassen sich deshalb schwer generalisieren, weil unterschiedliche Trainings (Dauer, Intensität, Länge der Einheiten, aerob vs. anaerob) durchgeführt wurden. Intensität sowie die Dauer der körperlichen Belastung und die damit einhergehenden Trainingseffekte scheinen eine entscheidende Rolle hinsichtlich einer positiven Entwicklung der kognitiven Leistung zu spielen. Viele dieser Studien arbeiten auch mit Versuchspersonen, welche bereits eine leichte kognitive Beeinträchtigung (MCI = mild cognitive impairment) aufweisen. Personen mit einer MCI schneiden in neuropsychologischen Tests schlechter ab als ihre gesunden Altersgenossen, sind aber in der Lage, Erinnerungshilfen zu benutzen und selbstständig zu leben. Sie haben jedoch eine erhöhte Gefahr, an einer Demenz zu erkranken (Reuter & Engelhardt, 2010).

In verschiedenen Studien wurde ein positiver Effekt von aerobem Training auf die kognitiven Funktionen bei Älteren gefunden. Beim Training im aeroben Bereich werden Kohlehydrate, Fette und teilweise auch Proteine unter Sauerstoffverbrauch zu Kohlendioxid und Wasser abgebaut. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass die aerobe Leistungsfähigkeit, vor allem bei Langzeitausdauersportarten ein entscheidender Leistungsfaktor ist (Spring et al., 2005).

Bei älteren Probanden wurden aerobe Aktivitäten (z.B. Walking oder Aerobic) mit einem deutlichen Leistungszuwachs in kognitiven Aufgaben beobachtet (Dustman et al., 1984; Dustman et al., 1994).

Colcombe et al. (2004) untersuchten den Effekt eines aeroben Ausdauertrainings (Walking) auf die Aufmerksamkeit mittels einer Flanker-Aufgabe. Mit dieser Aufgabe kann die Widerstandsfähigkeit gegen Ablenkreize gemessen werden, gleichzeitig wurden ereigniskorrelierte Aktivitäten im fMRT erhoben. Die Trainingsgruppe führte über sechs Monate dreimal pro Woche ein 45-minütiges Training durch. Die Kontrollgruppe führte im selben Zeitraum und Umfang Stretching- und Entspannungs-Übungen durch. Die Trainingsgruppe zeigte signifikant bessere Leistungen in der Flanker-Aufgabe sowie eine erhöhte Aktivität im frontalen und parietalen Cortex.

Lautenschlager et al. (2008) untersuchten in einem Zeitraum von 18 Monaten den Effekt eines täglichen 20-minütigen Trainings auf Versuchspersonen mit einer leichten kognitiven Beeinträchtigung. Sie fanden eine klinisch relevante Verbesserung der Trainingsgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe in einer Skala zur Verlaufsbeurteilung demenzieller Symptome (ADAS = Alzheimer's Disease Assessment Scale).

Baker und Kollegen (2010) führten eine Trainingsstudie mit 33 Probanden durch, welche eine leichte kognitive Beeinträchtigung aufwiesen. Die Probanden wurden per Zufall der Trainingsgruppe (aerobes Training) oder der Kontrollgruppe (Balance- und Dehnübungen) zugeordnet. Über einen Zeitraum von 6 Monaten fand 4-mal pro Woche ein 45-60-minütiges Training statt. Sie fanden eine Verbesserung der kognitiven Funktionen durch aerobes Training im Vergleich zur Kontrollgruppe in verschiedenen Tests (Zahlen-Symbol-Test, Wortflüssigkeit, Stroop-Aufgabe, Trail-Making-Test B und Aufgabenwechsel), wobei der Effekt für Frauen in einigen Aufgaben größer war als für Männer.

Auch für Krafttraining wurde neben der Steigerung der Muskelkraft ein positiver Effekt auf kognitive Funktionen gefunden. In einer Studie mit 46 Versuchspersonen von Perig-Chello et al. (1998) wurde ein achtwöchiges Krafttraining als Intervention durchgeführt. Die Ergebnisse der Trainingsgruppe wurden mit denen einer passiven Kontrollgruppe verglichen. Neben einem Anstieg der dynamischen Kraft in der Trainingsgruppe konnte auch eine signifikante Verbesserung des freien Abrufes von Begriffen im Vergleich zur Kontrollgruppe festgestellt werden, welcher auch noch ein Jahr nach dem Training nachzuweisen war.

Übersichtsarbeiten und Meta-Analysen kommen häufig zu dem Schluss, dass aerobes Training die kognitiven Fähigkeiten Älterer steigern kann – insbesondere, wenn es mit einem Krafttraining kombiniert wird.

Kramer et al. (2003) konnten in ihrer Übersichtsarbeit feststellen, dass die exekutiven Funktionen stärker als andere kognitive Funktionen durch eine gesteigerte aerobe körperliche Leistungsfähigkeit verbessert werden. Hierbei konnte keine Bevorzugung einer bestimmten exekutiven Funktion gefunden werden, sondern es profitierten alle Bereiche: Inhibition, Arbeitsgedächtnis, Handlungsplanung, Steuerung der Koordination. Der Effekt des aeroben Trainings konnte noch gesteigert werden, wenn dies mit einem Krafttraining kombiniert wurde.

Colcombe und Kramer (2003) betrachteten in ihrer Meta-Analyse 18 Studien, in denen der Effekt eines sportlichen Trainings auf die Verbesserung der geistigen Leistungsfähigkeit untersucht wurde. Es wurden verschiedene Arten von Training in Ausdauersportarten (Walking, Tanzen, Laufen), teilweise in Kombination mit Kräftigung, von 15 bis 60 min pro wöchentlichen Termin über eine Dauer von 1 bis mehr als 6 Monaten verglichen. Die Probanden waren im Alter von 55 bis über 70 Jahren. In jeder Studie wurden vor dem Training und nach dem Training verschiedene Tests zur geistigen Leistungsfähigkeit durchgeführt. Aus den 18 Studien wurde eine mittlere Wirkung des sportlichen Trainings auf die geistige Leistungsfähigkeit ermittelt, weiterhin wurde die Wirkung verschiedener Trainingsparameter untersucht. Die Autoren fanden, dass Ausdauertraining generell mit einer Verbesserung der geistigen Vitalität bei Älteren einherging. Besonders verbesserten sich die exekutive Funktionen (Handlungsplanung), das visuell-räumliche Gedächtnis und die Handlungskontrolle. Sie stellten fest, dass ein positiver Effekt des aeroben Trainings vor allem erreicht werden konnte, wenn es mit Krafttraining kombiniert wurde. Außerdem zeigten sich die größten Effekte nach Interventionen mit einer längeren Laufzeit (6 Monate und mehr) und mit einer mittleren Dauer der Trainingseinheiten (ca. 30 bis 45 min). Versuchspersonen zwischen 66 und 70 Jahren zeigten in den untersuchten Studien die größten Verbesserungen durch das Training.

Kramer und Erickson (2007) beschäftigten sich in ihrer Übersichtsarbeit zu körperlicher Aktivität und neuronaler Plastizität neben Beobachtungsstudien und Studien mit Tierexperimenten auch mit Trainingsstudien. Sie stellten fest, dass es einen generellen Effekt von körperlichem Training auf die kognitiven Funktionen

gibt, dieser aber durch verschiedene Faktoren moduliert wird. So profitierten in den von ihnen betrachteten Studien Personen mit leichter kognitiver Beeinträchtigung in größerem Ausmaß von körperlichem Training, ebenso Frauen. Die Autoren fanden außerdem, dass die Effekte des Trainings auf die exekutiven Funktionen besonders groß waren.

In einer Übersichtsarbeit von Angevaren et al. (2008) wurden die Ergebnisse von elf kontrollierten Trainingsstudien mit Senioren über 55 Jahren untersucht. Acht der elf Studien berichteten einen positiven Effekt eines aeroben Trainings auf die kognitive Leistungsfähigkeit im Vergleich zu anderen Trainings oder keiner Intervention. Die größten Effekte zeigten sich im Bereich der motorischen Leistung und der akustischen Aufmerksamkeit.

Es gibt jedoch auch Studien, welche keinen Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität und der Verbesserung kognitiver Funktionen beobachteten. Hill und Kollegen (1993) führten eine Langzeit-Studie mit 87 Versuchspersonen und einer Kontrollgruppe von 34 Personen im Alter von 64-73 Jahren durch. Ein aerobes Training wurde über einen Zeitraum von einem Jahr 3-5mal pro Woche jeweils 50 Minuten durchgeführt. Der kognitive Status wurde vor und nach dem Training mit dem Zahlen-Symbol-Test (aus dem Wechsler Intelligenz-Test), dem Test zum logischen Gedächtnis (aus der Wechsler Memory Scale) und einem Test, welcher Wahrnehmung und psychomotorische Leistungen messen sollte (Crossing-Off-Task), gemessen. Ein Unterschied zwischen beiden Gruppen zeigte sich nur im Zahlen-Symbol-Test, der Unterschied resultierte jedoch aus einer geringeren Leistung in der zweiten Messung in der Kontrollgruppe.

Ein Erklärungsansatz für die widersprüchlichen Ergebnisse ist, dass nur bestimmte Hirnregionen dem altersbedingten Abbau unterworfen sind (siehe Kapitel 3.1.2) und daher auch nur die Funktionen beeinträchtigt sind, welche in diesen Hirnregionen realisiert werden. Durch körperliches Training werden nicht die kognitiven Funktionen im Allgemeinen sondern nur spezielle (präfrontale) Funktionen angesprochen, welche besonders durch den altersbedingten Abbau betroffen sind (Colcombe & Kramer, 2003; Kramer et al., 2003). So ließen sich die größten Verbesserungen durch körperliches Training in kognitiven Aufgaben feststellen, welche exekutiven Funktionen wie Planen, Arbeitsgedächtnis, geteilte Aufmerksamkeit und Inhibition erforderten (Kramer & Erickson, 2007).

## 2.8.2 Kognitives Training

In den bisherigen Studien zu den Effekten von kognitivem Training bei Älteren wurden ebenfalls Hinweise für eine positive Wirkung des Trainings auf kognitive Funktionen gefunden (für eine Übersicht siehe Kramer & Morrow, in press). Allerdings variieren auch hier Art und Dauer des Trainings sowie die untersuchten Funktionen stark. In den meisten Studien wurden distinkte Funktionen (visuelle Suche oder Doppel-Tätigkeit) oder Aufgaben trainiert (Kramer, Larish, Weber & Bardell, 1999; Karbach & Kray, 2009; Salminen, Strobach & Schubert, 2012) und der Trainingserfolg von Älteren untersucht. Dabei konnte festgestellt werden, dass Ältere - genau wie Jüngere - ihre Leistung durch Training verbessern können. Schaie und Willis konnten bereits 1986 im Rahmen der bekannten Seattle Longitudinal Study zeigen, dass das Training von bestimmten Funktionen, in welchen die Teilnehmer zuvor Defizite gezeigt hatten, diese Leistungseinbußen teilweise wieder ausgleichen kann. Verhaeghen, Marcoen und Goossens (1992) kommen in ihrer Meta-Analyse jedoch zu dem Schluss, dass das Potential zur Veränderung bei Älteren kleiner ist als bei Jüngeren.

In der ACTIVE-Studie (Advanced Cognitive Training for Independent and Vital Elderly; Jobe et al., 2001; Ball et al., 2002; Willis et al., 2006) wurden mit einer großen Stichprobe von 2832 Personen zwischen 65 und 94 Jahren drei verschiedene Arten von kognitivem Training durchgeführt: Training von Gedächtnisstrategien, Logiktraining und Training der Verarbeitungsgeschwindigkeit. Jede Trainingsgruppe nahm an 10 Sitzungen teil. Die größten Leistungszuwächse konnten im Training der Verarbeitungsgeschwindigkeit und im Logik-Training festgestellt werden, jedoch wurde auch durch das Training der Gedächtnisstrategien eine Verbesserung der Leistung erreicht. Die Verbesserung in den trainierten Funktionen konnte auch noch 2 Jahre nach den Trainingssitzungen nachgewiesen werden.

Jedoch ist die Übertragbarkeit des Trainingserfolgs auf nicht trainierte Funktionen - der sogenannte Transfer - in den meisten Studien relativ begrenzt (Plemons, Willis & Baltes, 1978; Ball et al. 2002; Wilkinson & Yang, 2011). Einige Studien zeigen jedoch Transfereffekte: Bherer et al. (2005) konnten zeigen, dass das Training von Doppel-Tätigkeit nicht nur zu einer besseren Leistung in der

geübten Aufgabe führte, sondern sich auf andere Doppel-Aufgaben mit anderen Stimuli übertragen ließ. So stellten auch Wang, Chang und Su (2011) eine Verbesserung in nicht trainierten Aufgaben nach kognitivem Training fest, schrieben diese aber der großen Überlappung von eingesetzten kognitiven Funktionen in beiden Aufgaben zu.

Karbach und Kray (2009) führten eine Studie zu Transfer-Effekten beim Training von Aufgabenwechsel mit verschiedenen Altersgruppen durch. Sie stellten fest, dass der Transfer auf ähnliche Aufgaben bei Kindern (8-10) und Älteren (62-76) besonders groß war. Außerdem stellten die Forscherinnen fest, dass sich in allen Altersgruppen ein Transfer auf andere exekutive Funktionen und die fluide Intelligenz im Allgemeinen zeigte.

In einer anwendungsbezogenen Studie konnten Cassavaugh und Kramer (2009) zeigen, dass ein Training von Aufmerksamkeit, Arbeitsgedächtnis und manueller Kontrolle in einfachen Aufgaben und Doppelaufgaben die Leistung in simulierten Fahrsituationen bei älteren Probanden verbesserte.

Jedoch gibt es auch Studien, in welchen kein Transfer auf nicht trainierte Funktionen gefunden wurde. Owen et al. (2010) führten eine Studie mit über 11.000 Teilnehmern im Alter von 18 bis 60 Jahren mit zwei Trainingsgruppen (Gruppe I: Logisches Denken, Planen und Problemlösestrategien; Gruppe II: Kurzzeitgedächtnis, Aufmerksamkeit, räumliche Verarbeitung und Mathematik) und einer Kontrollgruppe durch. Nach dem 6-wöchigen Training zeigten sich zwar Verbesserungen in den trainierten Bereichen, jedoch keine Transfereffekte auf untrainierte Aufgaben, selbst wenn sich diese Aufgaben auf den gleichen kognitiven Bereich bezogen.

Brehmer, Westerberg & Bäckman (2012) führten ein computergestütztes Training (Cogmed QM) mit einer Gruppe von jüngeren (20-30 Jahre) und einer Gruppe von älteren (60-70 Jahre) Versuchspersonen durch. Die beiden Gruppen wurden nochmals in zwei Subgruppen unterteilt: In einer Gruppe wurde der Schwierigkeitsgrad adaptiv an die Leistung angepasst, in der anderen Subgruppe blieb der Schwierigkeitsgrad gleich auf einfachem Niveau. Das Training bestand aus insgesamt 7 Aufgaben, welche das verbale und non-verbale Arbeitsgedächtnis trainieren sollten. Die adaptive Trainingsgruppe zeigte einen größeren Leistungszuwachs in Aufgaben, welche dem Training ähnlich waren (Zahlenspanne vorwärts, Zahlenspanne rückwärts). Der Transfer des Trainings

auf Daueraufmerksamkeit und Konzentration gemessen mit dem PASAT (Paced Auditory Serial Addition Test) war ebenfalls größer in der adaptiven Trainingsgruppe. Obwohl die Jüngeren insgesamt eine bessere Leistung zeigten, gab es keinen Unterschied im Leistungszugewinn zwischen den Altersgruppen.

Buitenweg et al. (2012) kommen in ihrer Meta-Analyse zu dem Schluss, dass der Transfer von kognitivem Training auf nicht trainierte Funktionen dann besonders groß ist, wenn das Training kognitive Flexibilität erfordert wie z.B. beim Wechsel zwischen Aufgaben. Sie führen weiter aus, dass das Training aus möglichst vielen Komponenten der kognitiven Kontrolle bestehen sollte, so dass die trainierende Person in einen allgemeinen Zustand der Aufmerksamkeit und Bereitschaft für bevorstehende Aufgaben versetzt wird.

In einigen Studien wurde auch der Ansatz verfolgt, mit Senioren ein Strategie-Training durchzuführen (für eine Übersicht siehe Buitenweg et al., 2012; Rebok, Carlson & Langbaum, 2007 und Verhaegen et al., 1992). Dabei steht hauptsächlich die Vermittlung von Gedächtnis-Strategien wie der Loci-Methode im Vordergrund. In ihrer Übersichtsarbeit konnten Verhaegen et al. (1992) feststellen, dass in allen Studien, welche das Training von unterschiedlichen Gedächtnisstrategien untersuchten, Verbesserungen der Trainingsgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe gefunden wurden – unabhängig von der vermittelten Strategie.

Sogenannte multimodale Ansätze wurden entwickelt, um dem doch geringen Transfereffekt auf alltägliche Funktionen Rechnung zu tragen. Multimodale Ansätze sind komplexere Interventionen, welche sich aus verschiedenen kognitiven Interventionen zusammensetzen, oft aber auch eine soziale Komponente beinhalten (Lustig, Shah, Seidler & Reuter-Lorenz, 2009).

Hierunter fallen z.B. auch komplexe und abwechslungsreiche Trainings mit Computerspielen. In einigen Studien konnte ein Effekt des Trainings auf nicht trainierte Aufgaben festgestellt werden (Willis et al., 2006; Basak et al., 2008; Nouchi et al., 2012). Drew und Waters (1986) führten eine Studie mit Bewohnern eines Seniorenstifts durch. Diese trainierten zwei Stunden pro Woche mit dem Atari Spiel „Crystal Castle“, in welchem sowohl strategisches Denken als auch sensomotorische Fähigkeiten benötigt werden. Nach zwei Monaten Training konnte im Vergleich zur Kontrollgruppe eine deutliche Verbesserung in der Leistung im Wechsler-Intelligenztest (WAIS = Wechsler Adult Intelligence Scale)

sowie in psychomotorischen Leistungen festgestellt werden. Jedoch war die Kontrollgruppe in dieser Studie mit 2 Personen sehr klein.

Basak et al. (2008) führten eine Studie mit Senioren durch, welche über einen Zeitraum von 4-5 Wochen insgesamt 15 Sitzungen á 1,5 Stunden ein Echtzeit-Strategiespiel (Rise of Nations) spielten. Im Vergleich zur Kontrollgruppe zeigten die Spieler nach dem Training bessere Leistungen in Aufgabenwechsel, Arbeitsgedächtnis, visuellem Kurzzeitgedächtnis und logischem Denken.

Andere multimodale Ansätze fokussieren auf das Erlernen neuer Aktivitäten, welche kognitive, physische und soziale Aspekte miteinander verbinden. Tranter und Koutstaal (2008) führten eine Studie durch, in welcher die teilnehmenden Senioren zum einen eine Vielzahl an Übungen (z.B. kreatives Zeichnen, Wort-Logik-Puzzles) zu Hause durchführten und zum anderen nahmen sie an drei Sitzungen im Labor teil, in welchen verschiedene Gruppenaktivitäten durchgeführt wurden. Im Vergleich zur Kontrollgruppe zeigte die Trainingsgruppe größere Verbesserungen in fluider Intelligenz (gemessen mit Cattell's Culture Fair) und räumlich-visueller Wahrnehmung.

Bugos et al. (2007) führten eine Studie mit 31 60-85jährigen Versuchspersonen durch, wovon die Hälfte über einen Zeitraum von 6 Monaten Klavierstunden erhielt und zusätzlich 3 Stunden pro Woche zu Hause üben sollte. Im Vergleich zur anderen Hälfte, welche kein Training erhielt, zeigte die Gruppe der Klavierspieler Verbesserungen im Zahlen-Symbol-Test (Untertest des Wechsler Intelligenz-Test) und im Trail-Making-Test, was eine Verbesserung der Aufmerksamkeitsleistung und Koordinationsgeschwindigkeit (vor allem auf visueller Ebene) bedeutet. Insgesamt lässt sich ein positiver Effekt des kognitiven Trainings feststellen; multimodale Ansätze haben dabei den Vorteil, dass sie besonders abwechslungsreich sind und einen Transfer auf alltägliche Funktionen ermöglichen.

### **2.8.3 Vergleich verschiedener Trainingsformen**

Sehr wenige Studien haben bisher versucht, die Effekte von körperlichem und kognitivem Training miteinander zu vergleichen. Oswald et al. (1996) untersuchten in ihrem Programm *Selbstständigkeit im Alter (SimA)* in einem Kontrollgruppendesign die Effekte von kognitivem, körperlichem und

kombiniertem Training auf kognitive Funktionen. Dabei verglichen sie Training von alltäglichen Kompetenzen, Gedächtnistraining und psychomotorisches Training sowie eine Kombination aus den letzten beiden miteinander. Sie fanden eine deutliche Verbesserung in allen Trainingsgruppen im Vergleich zur Kontrollgruppe (Oswald, Rupprecht, Gunzelmann & Tritt, 1996). Dabei zeigte sich nur in der kombinierten Form des Trainings ein Rückgang von Symptomen einer Demenz bei den Teilnehmern.

Fabre et al. (2002) verglichen in einer Studie ebenfalls die Effekte von körperlichem, kognitivem und kombiniertem Training mit einer sehr kleinen Stichprobe von 32 Probanden. Sie stellten fest, dass alle Trainingsgruppen ihre Leistung in Gedächtnisaufgaben verbessern konnten, die kombinierte Trainingsgruppe jedoch noch größere Leistungsverbesserungen zeigte als die anderen beiden Gruppen.

In der Studie „Berlin bleibt fit“ (Klusmann et al. 2010) wurden 259 Frauen im Alter von 70 bis 93 Jahren drei verschiedenen Trainingsgruppen zugeordnet: Einer körperlichen Trainingsgruppe (kombiniertes Kraft- und Ausdauertraining, Flexibilität, Koordination, Balance), einer PC-Gruppe (allgemeiner Umgang mit dem PC, Schreiben, Spielen, Rechnen, im Internet surfen, E-Mails schreiben usw.) oder einer passiven Kontrollgruppe. Das Training bestand aus 75 Einheiten mit der Dauer von jeweils 90 Minuten. Die Ergebnisse zeigten verbesserte Gedächtnisleistungen sowohl in der körperlichen Trainingsgruppe als auch PC-Gruppe relativ zur Kontrollgruppe.

## 2.9 Hypothesen und Fragestellung

Bei der Erforschung von Altersveränderungen scheint es sinnvoll zu sein, das Augenmerk auf genau die Funktionen zu richten, welche mit zunehmendem Alter die größten Beeinträchtigungen zeigen. Diese Klasse von Funktionen, die exekutiven Funktionen, dienen der Überwachung und Regulation des Verhaltens. Um die zugrundeliegenden Prozesse der mit dem Altern verbundenen Veränderungen zu untersuchen, eignen sich also Aufgaben, welche ein hohes Maß an kognitiver Kontrolle erfordern. Eine besondere Rolle spielt anscheinend die Widerstandsfähigkeit gegenüber Störprozessen, welche sich am besten mithilfe von Paradigmen untersuchen lässt, welche Interferenz erzeugen.

Die Stroop-Aufgabe und das Aufgabenwechsel-Paradigma sind Instrumente, welche sich zur Untersuchung von Interferenz und Inhibitionsfähigkeit bestens eignen. Durch Kombination der beiden Aufgaben entsteht eine höchst anspruchsvolle Aufgabe, welche es erlaubt, selbst geringe Effekte der Altersveränderungen auf Ebene der exekutiven Funktionen zu untersuchen. Dabei kann Interferenz an mehreren Stellen der Verarbeitung entstehen und durch verschiedene Faktoren moduliert werden. So bieten sich zahlreiche Möglichkeiten der Manipulation, um gezielt die Art und das Ausmaß an Interferenz variieren und die zugrundeliegenden Prozesse untersuchen zu können.

In Verbindung mit der Erhebung der ereigniskorrelierten Potentiale können Rückschlüsse auf nicht beobachtbare kognitive Teilprozesse gezogen werden. Die bisherigen Forschungsergebnisse haben dazu beigetragen, die zugrundeliegenden Prozesse näher zu durchleuchten. Allerdings liefern die Studien z.T. widersprüchliche oder unvollständige Ergebnisse. Ziel des ersten Teils dieser Arbeit ist es daher, die Unterschiede kognitiver Funktionen zwischen Jüngeren und Älteren mithilfe der ereigniskorrelierten Potentiale näher zu untersuchen. Im zweiten Teil der Arbeit soll der Frage der Veränderbarkeit dieser kognitiven Prozesse bei Älteren nachgegangen werden und verschiedenen Arten von Training verglichen werden. Auch im zweiten Teil sollen die EKP untersucht werden.

### **2.9.1 Studie 1: Vergleichende Altersstudie mit den Gruppen „Jüngere“ und „Ältere“**

Im ersten Teil der vorliegenden Studie soll mithilfe des kombinierten Stroop-Switch-Paradigmas untersucht werden, welche kognitiven Prozesse bei Älteren verändert bzw. beeinträchtigt sind. Dabei sollen zum einen die Befunde der bisherigen Studien, welche das gleiche Paradigma verwendet haben (West, 2004; Kray et al., 2005 und Eppinger et al., 2007), repliziert werden. Zum anderen sollen die bisher gefundenen Ergebnisse ergänzt werden. Die Aufgabe besteht aus drei Blöcken. In zwei einfachen Blöcken ist jeweils nur die Wortbedeutung (Block 1) oder die Farbe (Block 2) die relevante Dimension. In einem gemischten Block (Block 3) wechselt die relevante Dimension.

Neben den Verhaltensdaten sollen die ereigniskorrelierten Potentiale von Älteren und Jüngeren erhoben und auch miteinander verglichen werden, um die kognitiven Prozesse an verschiedenen Stellen der neuronalen Verarbeitung zu durchleuchten.

Folgende Fragen sollen im ersten Teil dieser Arbeit beantwortet werden:

- Können die Befunde der früheren Studien, welche ebenfalls ein kombiniertes Stroop-Switch-Paradigma verwendet haben, repliziert werden? Welche Alterseffekte sind zu erwarten?

Bezogen auf die Reaktionszeiten wird erwartet, dass Ältere generell langsamer reagieren als Jüngere. Außerdem zeigen alle Versuchspersonen längere Reaktionszeiten bei Aufgabenwiederholungen des gemischten Blocks im Vergleich zu den einfachen Blöcken. Bei inkongruenten Reizen reagieren sie langsamer als bei kongruenten Reizen (Stroop-Effekt) und bei Aufgabenwechseln langsamer als bei Aufgabenwiederholungen. Der Stroop-Effekt ist in der Bedingung „Farbe“ größer als in der Bedingung „Wortbedeutung“ und größer im gemischten Block als in den einfachen Blöcken. Ältere zeigen in der Bedingung Farbe einen größeren Stroop-Effekt als Jüngere. Verschiedene altersvergleichende Studien mit dem Aufgabenwechsel-Paradigma konnten belegen, dass Ältere im Vergleich zu Jüngeren höhere Mischkosten zeigen.

Nicht eindeutig sind hingegen die Befunde für die Wechselkosten.

Bezogen auf die Fehlerraten zeigen die Versuchspersonen höhere Fehlerraten bei inkongruenten Reizen als bei kongruenten Reizen. Die Fehlerrate in der Bedingung „Farbe“ ist höher als in der Bedingung „Wortbedeutung“. Versuchspersonen machen mehr Fehler bei Aufgabenwiederholungen des gemischten Blocks im Vergleich zu den einfachen Blöcken. Innerhalb des gemischten Blocks machen sie mehr Fehler bei Aufgabenwechseln als bei Aufgabenwiederholungen. Für Ältere ist der Stroop-Effekt größer als für Jüngere in der Bedingung „Farbe“ und im gemischten Block. Sie zeigen außerdem höhere Mischkosten auch in Form einer höheren Fehlerrate. Die Befundlage für Unterschiede zwischen Jüngeren und Älteren in Bezug auf die Wechselkosten innerhalb eines Blockes ist bisher nicht eindeutig.

- Kann diese Studie dazu beitragen, die bisherigen Befunde bezüglich der CueP3 im kombinierten Stroop-Switch-Paradigma zu stützen und zu ergänzen? Welche Veränderungen zeigen sich bei Älteren?

In einer Studie wurde in den Blöcken ohne Wechsel der Aufgabe bzw. relevanten Dimension keine CueP3 gefunden (West, 2004), in anderen Studien zeigte sich eine geringe CueP3 (Kray et al., 2005; Goffaux et al., 2006; Jost, Mayr & Rösler, 2008). In dieser Studie soll daher zunächst untersucht werden, ob sich in den Blöcken ohne Wechsel der relevanten Dimension eine CueP3 zeigt.

Es ist bisher noch unklar, inwieweit die CueP3 in der kombinierten Stroop-Switch-Aufgabe durch die Aufgabenabfolge beeinflusst wird, da die Befundlage unvollständig ist bzw. dagegen spricht (Eppinger et al., 2007). Daher soll die CueP3 in Bezug auf die Aufgabenabfolge untersucht werden.

Außerdem ist die Befundlage bezüglich der CueP3 in Zusammenhang mit der relevanten Dimension unvollständig. In der vorliegenden Studie soll geklärt werden, inwieweit der Hinweis auf die dominante Dimension „Wortbedeutung“ oder die nicht dominante Dimension „Farbe“ Unterschiede in der CueP3 hervorruft.

Die obenstehenden Untersuchungen sollen zusätzlich im Hinblick auf die beiden Altersgruppen untersucht werden, um festzustellen, welche Veränderungen sich bei Älteren zeigen. Um Unterschiede in der Topografie der CueP3 - sowohl in Bezug auf die Bedingungen als auch in Bezug auf die Altersgruppen – zu durchleuchten, soll die CueP3 in einem Array (Anordnung) von insgesamt 9 Elektroden um Cz untersucht werden. Hier wird erwartet, dass die Älteren im Vergleich zu den Jüngeren eine Frontalisierung des Potenzials zeigen (Polich, 1997).

- Kann die zeitliche Abfolge und Topografie der N2 und der N<sub>i</sub>, auf inkongruente Reize mit der vorliegenden Studie besser durchleuchtet werden? Spiegeln die N2 und die N<sub>i</sub> unterschiedliche Prozesse wider? Gibt es Unterschiede zwischen Jüngeren und Älteren in der N2 und der N<sub>i</sub>?

Die frontozentrale N2 wird häufig mit der Verarbeitung von Interferenz zwischen Reiz-Reaktions-Verknüpfungen in Zusammenhang gebracht (Gajewski et al., 2010b; Rushworth et al., 2002). Bei inkongruenten Reizen sollte Ihre Peak-Amplitude also höher sein als bei kongruenten Reizen, dies konnte für die Stroop-Aufgabe jedoch noch nicht zuverlässig nachgewiesen werden. Die N2-Amplitude sollte für Ältere schwächer ausfallen als für Jüngere. Es sollen die Peak-Amplitude und die Latenz der N2 an den Elektroden Fz und Cz untersucht werden.

Die  $N_i$  ist bei inkongruenten Reizen stärker ausgeprägt (West, 2003; Rebai et al., 1997; West & Alain, 1999; Liotti et al., 2000) und wird ebenfalls in Zusammenhang mit der Verarbeitung von Interferenz durch überlappende Reiz-Reaktionsverknüpfungen interpretiert (Eppinger et al., 2007) oder mit Prozessen der Konfliktwahrnehmung, -verarbeitung oder -auflösung in Verbindung gebracht (Liotti et al., 2000; West, 2004; Coderre et al., 2011; Atkinson et al., 2003; Kray et al., 2005). Dabei ist die Interferenz größer bei inkongruenten Reizen der nicht dominanten Stimulus-Dimension (Farbe, Kray et al., 2005). Die Topografie variiert in den bisherigen Studien stark, deswegen soll in der vorliegenden Studie die  $N_i$  in einem Array von insgesamt 9 Elektroden um Cz untersucht werden. Mithilfe der  $N_i$  und der N2 sollen außerdem Unterschiede zwischen Jüngeren und Älteren in der Interferenzverarbeitung (Stroop-Interferenz) aufgedeckt werden. Es sollen nur die Durchgänge der einfachen Blöcke untersucht werden, um Konfundierungen mit anderen Prozessen gering zu halten.

- Können die Ergebnisse der P3 im Aufgabenwechsel für das kombinierte Stroop-Switch-Paradigma bestätigt werden?

Die P3 wird mit Prozessen der Stimulus-Evaluation und der Inhibition von Aktivität zur Förderung der Aufmerksamkeit auf den Stimulus und Transfer des Arbeitsgedächtnis in Verbindung gebracht (Polich, 2007). Im Aufgabenwechsel-Paradigma zeigt sich eine geringere Amplitude der P3 beim Aufgabenwechsel im Vergleich zu Aufgabenwiederholungen (Lorist et al., 2000; Rushworth et al., 2002; Karayanidis et al., 2003; Gajewski et al., 2010b; Gajewski & Falkenstein, 2011; Hsieh & Wu, 2011). Ältere zeigen eine niedrigere Amplitude der P3 – zumindest an parietalen Elektroden (Mager et al., 2007), jedoch eine breitere

Verteilung der P3 über den Skalp (Karayanidis et al., 2011; siehe auch Polich, 1997). In der vorliegenden Studie soll untersucht werden, ob sich diese Ergebnisse mit der Stroop-Switch-Aufgabe replizieren lassen. Auch hier wird das Potenzial in einem Array von 9 Elektroden um Cz untersucht.

## **2.9.2 Einfluss von Training**

Anknüpfend an diesen Teil soll im zweiten Teil der Studie der Frage nachgegangen werden, ob Ältere ihre Leistung durch Training verbessern können. Da Hinweise existieren, dass sowohl körperliches als auch kognitives Training mit Leistungsverbesserungen verknüpft sind (Kramer et al., 2003; Colcombe & Kramer, 2003; Colcombe et al., 2004; Kramer & Erickson, 2007; Klusmann et al., 2010; Ball et al., 2000; Basak et al., 2008; Kramer & Morrow, in press), sollen die beiden Trainingsarten miteinander verglichen werden. Um auszuschließen, dass Verbesserungen, welche möglicherweise eintreten, auf den unspezifischen Effekt des regelmäßigen sozialen Miteinanders oder auch der Teilnahme an einem Trainingsprogramm zurückzuführen sind (siehe hierzu Lustig et al., 2009; Tratner & Koutstaal, 2008), soll eine weitere (Pseudo-) Trainings-Gruppe eingerichtet werden. Diese Gruppe soll als Kontrollgruppe dienen. Es soll ein Training von verschiedenen Entspannungs-Methoden verbunden mit Informationen über Gesundheitsthemen durchgeführt werden, von welchem keine Effekte auf die kognitiven Funktionen erwartet wird. Außerdem soll es eine passive Kontrollgruppe geben, welche keine Art von Intervention erhält.

In Bezug auf körperliches Training hat die Literaturrecherche ergeben, dass ein aerobes Training positive Effekte auf die kognitiven Funktionen hat – vor allem, wenn es mit Krafttraining verbunden wird (Kramer et al., 2003; Colcombe & Kramer, 2003). Deshalb wurde auch in der vorliegenden Studie ein kombiniertes Kraft-Ausdauertraining durchgeführt.

Für das kognitive Training wurde ein multimodaler Ansatz gewählt, bei dem mit vielen verschiedenen Aufgaben auf spielerische Art und Weise trainiert wurde und auch das soziale Miteinander eine große Rolle spielte. Die kombinierte Stroop-Switch-Aufgabe, welche zur Überprüfung des Trainingserfolgs eingesetzt wurde, war nicht Bestandteil des Trainings.

Der Trainingserfolg soll anhand der kombinierten Stroop-Switch-Aufgabe überprüft werden, da diese ein hohes Maß an kognitiver Kontrolle erfordert und somit genau die Funktionen untersucht werden können, welche dem altersbedingten Abbau unterworfen sind. Zudem können durch den hohen Schwierigkeitsgrad der Aufgabe auch marginale Verbesserungen erfasst werden. Vor Beginn des Trainings und nach Beendigung des Trainings soll die Aufgabe mit allen Gruppen durchgeführt werden und auch hier die ereigniskorrelierten Potentiale erhoben werden, um nicht beobachtbare kognitive Prozesse untersuchen zu können. Folgende Fragen sollen im zweiten Teil dieser Studie beantwortet werden:

- Kann körperliches oder kognitives Training eine Verbesserung der kognitiven Kontrollfunktionen bei Älteren bewirken?

Da in vergleichenden Trainingsstudien positive Effekte von körperlichem und kognitivem Training gefunden wurden (Oswald et al., 1996; Fabre et al., 2002; Klusmann et al., 2010), wird auch für diese Studie erwartet, dass sowohl durch kognitives als auch durch körperliches Training eine Verbesserung der kognitiven Kontrolle bei Älteren erreicht werden kann.

- Gibt es differenzielle Verbesserungen durch kognitives oder körperliches Training?

Es wird erwartet, dass die Effekte des körperlichen Trainings und die des kognitiven Trainings unterschiedlich sind. Es wäre z.B. denkbar, dass die Verbesserungen in den Trainingsgruppen unterschiedlich groß ausfallen oder sich nur auf die Reaktionszeit oder die Fehlerrate beschränken.

- Kann allein durch ein regelmäßiges soziales Miteinander eine Verbesserung der kognitiven Funktionen erreicht werden?

Es wird nicht erwartet, dass allein durch ein regelmäßiges soziales Miteinander und die Teilnahme an einem Entspannungstraining verbunden mit Informationen über Gesundheit und Ernährung eine Verbesserung der kognitiven

Kontrollfunktionen erreicht werden kann. In bisherigen Studien konnte die soziale Komponente dazu beitragen, das Training interessant zu machen und die Teilnehmer dazu zu motivieren, sich aktiv zu beteiligen (Lustig et al., 2009). Es gibt jedoch auch Trainingsstudien, in welcher das Training größtenteils von den Teilnehmern alleine durchgeführt wurde und trotzdem mit Verbesserungen einherging (Tranter & Koutstaal, 2008).

➤ Wie lässt sich der Trainingserfolg messen?

Die kombinierte Stroop-Switch-Aufgabe wird vor und nach dem Training in allen Gruppen durchgeführt. Zeigen die Trainingsgruppen größere Verbesserungen (niedrigere Fehlerrate und kürzere Reaktionszeiten) als die Kontrollgruppen, so ist dies auf das Training zurückzuführen. Die Auswertung der EKP soll weiteren Aufschluss über mögliche Verbesserungen liefern.

➤ Wie können die EKP dazu beitragen, die Trainingseffekte näher zu durchleuchten?

Da bislang keine Befunde zu Effekten von Training auf die EKP in der kombinierten Stroop-Switch-Aufgabe existieren, hat die Untersuchung der EKP einen eher explorativen Charakter. Es sollen die gleichen Parameter wie in der ersten Studie verwendet werden, um diese mit möglicherweise zuvor gefundenen Unterschieden zu Jüngeren vergleichen zu können. Es wird erwartet, dass sich die Verbesserungen auf Verhaltensebene mithilfe der EKP spezifizieren lassen. Dabei ist nicht davon auszugehen, dass sich die EKP der trainierten Älteren denen der Jüngeren annähern. Vielmehr wird erwartet, dass Ältere im Gegensatz zu Jüngeren zusätzliche Ressourcen rekrutieren, um bessere Leistungen zu erzielen (Kompensationshypothese, Reuter-Lorenz & Cappell, 2008) oder andere Strategien als Jüngere anwenden. So konnte in bisherigen Studien nachgewiesen werden, dass Ältere, welche gute Leistungen erzielen, eine geringere Asymmetrie in der Aktivierung der beiden Hemisphären zeigen als Ältere, welche schlechtere Leistungen erzielen oder Jüngere (Cabeza, Anderson, Locantore & McIntosh, 2002). Ebenfalls lässt sich bei Älteren eine stärkere Frontalisierung einiger Potenziale wie z.B. der P3 beobachten (Polich, 1997).

## **3 Studie I: Vergleichende Altersstudie mit den Gruppen „Jüngere“ und „Ältere“**

### **3.1 Methodik**

#### **3.1.1 Allgemeine Untersuchungsdurchführung**

In einem telefonischen Erstkontakt wurden die Ausschlusskriterien abgeklärt (siehe Kapitel 4.1.2, bis auf die Durchführung des MMST = Mini-Mental-Status-Test). Insgesamt meldeten sich 467 Interessenten für die Studie.

Kamen die Personen für die Studie in Frage, wurden zwei Termine vereinbart. Am ersten Untersuchungstermin wurden die Probanden mündlich über die Studie aufgeklärt und ein Informationsblatt über den Gesamtablauf der Studie ausgehändigt sowie die Einverständniserklärung eingeholt (siehe Anhang). Im Anschluss daran wurde zunächst der MMST durchgeführt (nur Ältere), welcher ein Screening-Test für dementielle Erkrankungen ist. Bei ausreichend hoher Punktzahl (mindestens 26 von 30 Punkten) wurde in einer 40-60-minütigen Sitzung (je nach Bearbeitungsgeschwindigkeit) eine neuropsychologische Testung durchgeführt (alle Probanden). Nach der ersten Sitzung erhielten die Probanden verschiedene Fragebögen, welche sie zu Hause ausfüllten und zur nachfolgenden Sitzung wieder mitbrachten. Der zweite Termin bestand aus einer Untersuchung kognitiver Funktionen, bei der neben Verhaltensdaten elektrophysiologische Daten erhoben wurden (Dauer etwa 3,5 Stunden).

Mit den älteren Probanden wurde zusätzlich ein dritter Termin vereinbart, an welchem ein fahrradergometrischer Stufentest (PWC 130 = Physical Working Capacity, Herzfrequenz 130 Schläge pro Minute) durchgeführt wurde, um die körperliche Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit des Herz-Kreislauf-Systems zu erfassen.

Insgesamt 152 ältere und 36 jüngere Personen nahmen an der Studie teil. 10 ältere Versuchspersonen konnten aus verschiedenen Gründen (Krankheit, Umzug, Tod) die Studie nicht beenden.

### 3.1.2 Stichprobenbeschreibung

Die älteren Studienteilnehmer, deren Daten für den Vergleich zwischen Jüngeren und Älteren verwendet wurden, wurden per Zufall aus den Versuchsteilnehmern der Trainingsstudie ausgewählt. Die Stichprobe umfasste 36 ältere und 36 jüngere Probanden. Die älteren Studienteilnehmer wurden über lokale Presse (Ruhrnachrichten, Stadtanzeiger), Fernsehen (Lokalzeit im WDR) und Flugblattaktionen an verschiedenen Standorten (auf Sommerfesten, Sportfesten, Tanzveranstaltungen, in Arztpraxen, Seniorenbegegnungsstätten usw.) akquiriert. An der Studie konnten Personen teilnehmen, welche zum Zeitpunkt der Akquise 1) mindestens 65 Jahre alt waren, 2) selbständig lebten, 3) körperlich mobil waren und 4) im MMST eine Punktzahl von mindestens 26 erreichten. Die jüngeren Probanden wurden an unterschiedlichen Fachbereichen der TU Dortmund rekrutiert.

Alle Probanden waren normal- oder korrigiert normalsichtig. Weder ältere noch jüngere Probanden wiesen eine neurologische oder psychiatrische Erkrankung in der Anamnese auf. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Geschlechterverteilung, das durchschnittliche Alter und die Schulbildung der Probanden. Hinsichtlich der Geschlechterverteilung bestand kein Unterschied zwischen den beiden Stichproben (Chi-Quadrat-Test,  $p > .05$ ), jedoch unterschieden sich die Jüngeren und Älteren in Bezug auf die Schulbildung. Dies ist vor dem Hintergrund eines kontinuierlichen Anstieges des Bildungsniveaus in Deutschland (vor allem in der Gruppe der Frauen) jedoch nicht zu vermeiden (Autorengruppe Bildungsberichterstattung, 2012).

Vor Beginn der Studie wurden alle Versuchsteilnehmer schriftlich und mündlich über die Ziele und den Ablauf der Studie informiert (siehe Anhang). Die schriftliche Einverständniserklärung konnte jederzeit und ohne Angabe von Gründen widerrufen werden. Die Teilnehmer erhielten eine finanzielle Aufwandsentschädigung.

Tabelle 2: Soziodemografische Daten der jüngeren und älteren Studienteilnehmer

Gruppe	N	Geschlecht		Alter		Schulbildung			
		♀	♂	M (SD)	Min.-Max.	1	2	3	4
Jüngere	36	19	17	25,2 (±2,7)	19-33	0	3	33	0
Ältere	36	21	15	71,1 (±5,0)	65-87	15	10	10	1

Erläuterungen: Schulbildung: 1 = Hauptschule/Volksschule, 2 = Realschule (oder vergleichbar), 3 = Gymnasium, (Fach-)Hochschule, 4 = kein Abschluss

### 3.1.3 Versuchsaufbau

#### 3.1.3.1 Ablauf

Die Untersuchungszeiten lagen zwischen 08:00 Uhr und 16:00 Uhr. Inklusive Vorbereitung, Pausen und Nachbereitung nahm die gesamte elektrophysiologische Untersuchung pro Proband etwa 3,5 Stunden in Anspruch. Auf die hier dargestellte Aufgabe entfielen hiervon ca. 25 Minuten.

Zu Beginn wurden die EEG- und EOG-Elektroden (EOG = Elektrookulogramm) angebracht. Dies dauerte ca. 30 Minuten. Danach folgte die Instruktion der Versuchsteilnehmer. Die Probanden wurden sowohl schriftlich (siehe Anhang) als auch mündlich durch den Versuchsleiter genau über den Ablauf des Versuchs und der einzelnen Aufgaben informiert. Sie wurden darauf hingewiesen, möglichst ruhig und entspannt zu sitzen und wenig zu blinzeln, um ein möglichst störungsfreies EEG ableiten zu können.

Bevor der eigentliche Versuch und die Aufzeichnung des EEGs gestartet wurden, fand eine Übungsphase statt, in welcher die Aufgabe gestartet wurde und der Proband bereits auf die Reize reagierte. So konnte festgestellt werden, ob der Proband die Aufgabe verstanden hatte und Fragen geklärt werden. Gab es keine Unklarheiten mehr, wurde die Aufgabe erneut gestartet und das EEG aufgezeichnet.

### **3.1.3.2 Versuchsraum und Apparatur**

Die Untersuchung fand in einem EEG-Labor des Institutes für Arbeitsforschung an der TU Dortmund statt. Das Labor war während des Versuchs abgedunkelt. Die Versuchsperson saß in ca. 90 cm Entfernung vom Bildschirm. Die Reaktionstasten befanden sich auf einem Tisch vor der Versuchsperson.

Der Versuchsleiter befand sich im Versuchssteuerraum. Dort befanden sich auch der Computer für die Reizdarbietung und der Computer für die EEG-Aufzeichnung. Der Versuchsleiter konnte die Versuchsperson über eine Kamera beobachten und mit ihr über eine Gegensprechanlage in Kontakt treten.

Die Versuchsperson sah die Reize auf einem Röhrenmonitor mit einer Bilddiagonalen von 15 Zoll. Die Auflösung betrug 640 x 480 Pixel bei 100 Hertz Bildwiederholfrequenz, die Ausgabe der Reize war mit der Wiederholfrequenz synchronisiert.

Die Reaktion erfolgte über vier Tasten, welche auf zwei Schaltflächen für die rechte und linke Hand verteilt waren. Die Tasten wurden mit dem Daumen und Zeigefinger der rechten und linken Hand betätigt.

Im Steuerraum standen zwei PCs mit Monitoren. PC1 diente der Reizgenerierung und der aktuellen Anzeige und Speicherung der Verhaltensdaten. Der Versuch wurde in Turbo-Pascal mit Hilfe von Assembler programmiert und lief unter dem Betriebssystem MS-DOS. Über PC2 konnten mithilfe der Software Actiview605 die Kanäle der EEG-/EOG-Ableitung auf dem Monitor beobachtet und für die offline-Analysen aufgezeichnet werden. Ein dritter Monitor diente der Kontrolle der Reizpräsentation, über einen vierten Monitor konnte die Versuchsperson beobachtet werden.

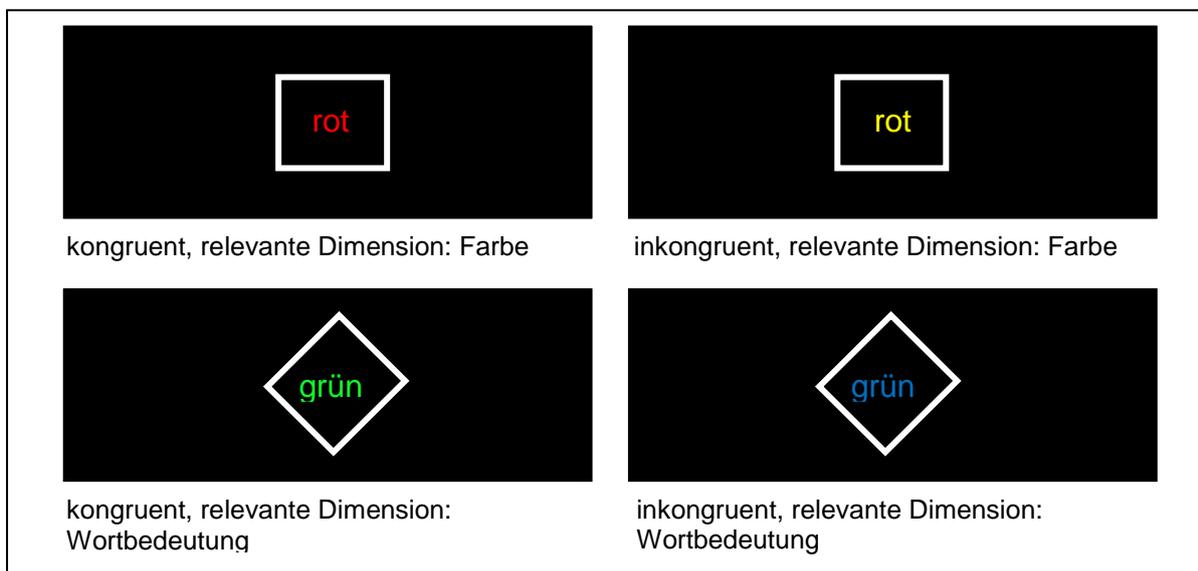
### **3.1.3.3 Reizmaterial und Reizdarbietung**

Es wurde eine modifizierte Stroop-Aufgabe (Stroop, 1935) verwendet, welche aus zwei einfachen Blöcken (Farbe, Wortbedeutung) und einem gemischten Block (Stroop-Switch) mit Wechsel der relevanten Dimension bestand. Die relevante Dimension wurde sowohl in den Single-Blöcken als auch im gemischten Block durch einen Hinweisreiz (Cue) angekündigt. Dieser war entweder eine Raute, welche signalisierte, dass die Wortbedeutung die relevante

Stimulus-Dimension ist oder ein Quadrat, welches signalisierte, dass die Farbe die relevante Stimulus-Dimension ist.

Die Hinweise wurden in weißer Farbe präsentiert, ihre Seitenlänge betrug 37 mm. Als Zieleize dienten die Wörter „rot“, „grün“, „blau“ und „gelb“, welche in den Farben rot, grün, blau und gelb dargestellt wurden und innerhalb der Raute oder des Quadrates erschienen. Die Höhe der Reize betrug 10 mm, die Länge 5-7 mm je nach Wortlänge. Die Reize wurden auf schwarzem Grund präsentiert.

In jeweils der Hälfte der Fälle stimmten Farbe und Wortbedeutung überein (kongruenter Reiz), in der anderen Hälfte der Fälle waren Farbe und Wortbedeutung unterschiedlich (inkongruenter Reiz), siehe Abbildung 3.



**Abbildung 3:** Schematische Darstellung möglicher Stimulus-Konfigurationen

Der Proband hatte jeden dargebotenen Reiz mit einem Tastendruck zu quittieren. Dabei sollte er eine von vier Tasten drücken, der Mittelfinger der linken Hand war der Taste „rot“, der Zeigefinger der linken Hand „grün“, der Zeigefinger der rechten Hand „blau“ und der Mittelfinger der rechten Hand „gelb“ zugeordnet (siehe Abbildung 4). Die Zuordnung galt sowohl für die Dimension Farbe als auch für die Dimension Wortbedeutung. Es sollte auf die relevante Dimension - angezeigt durch die Quadrat oder Raute - reagiert, die nicht relevante Dimension dabei ignoriert werden.

Der zeitliche Ablauf war wie folgt: Zunächst erschien für 300 ms ein Fixationskreuz in der Mitte des Bildschirms. Dann wurde der Hinweis präsentiert

(Raute = Wortbedeutung, Quadrat = Farbe), nach 1000 ms erschien in dem Hinweis der Zielreiz, dieser verblieb auf dem Bildschirm, bis die Reaktion erfolgte. Nach der Reaktion wurde für 500 ms ein Fixationskreuz eingeblendet, dann erschien für 500 ms das Feedback (+ für eine richtige Reaktion, - für eine falsche Reaktion, zusätzlich das Wort „schneller“, wenn die Reaktionszeit über 2500 ms lag). Der zeitliche Ablauf ist in Abbildung 4 dargestellt.

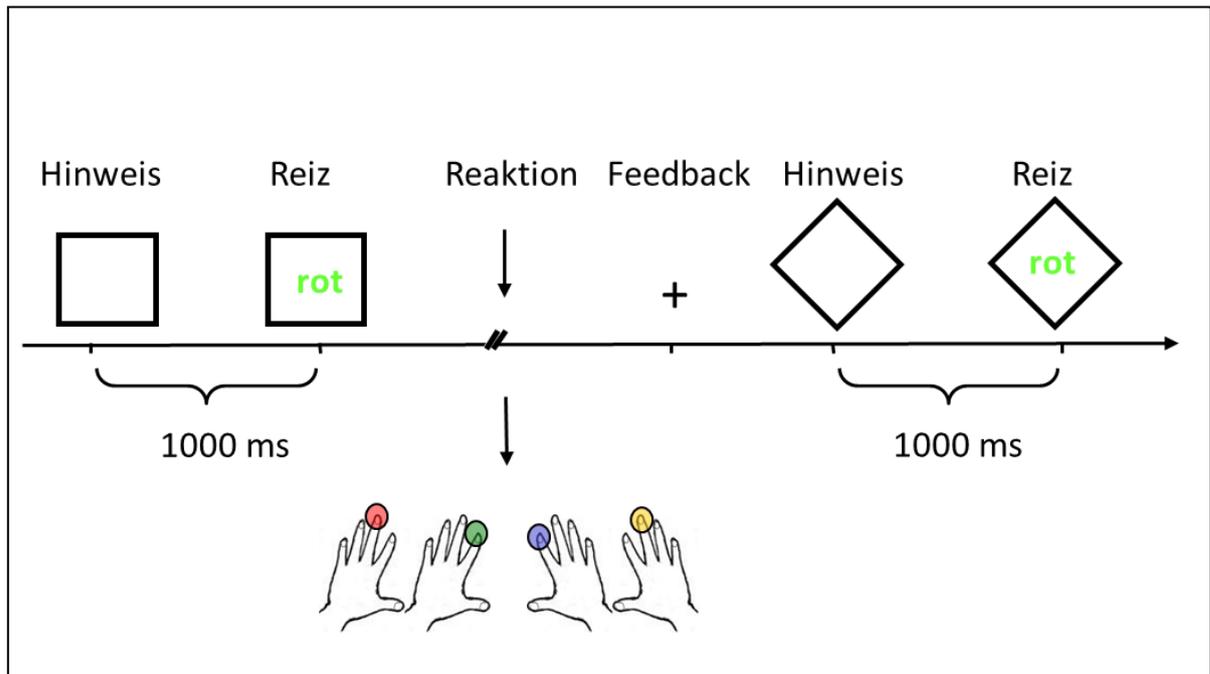


Abbildung 4: Schematische Darstellung der zeitlichen Abfolge im gemischten Block

### 3.1.3.4 Versuchsplan

Die Versuchspersonen lassen sich in die zwei Gruppen Jüngere und Ältere unterteilen. Hinsichtlich der Fragestellung sollten die altersassoziierten Effekte auf die erhobenen elektrophysiologischen Variablen und Verhaltensdaten zwischen den beiden Gruppen verglichen werden. Die unabhängigen und abhängigen Variablen sind wie folgt:

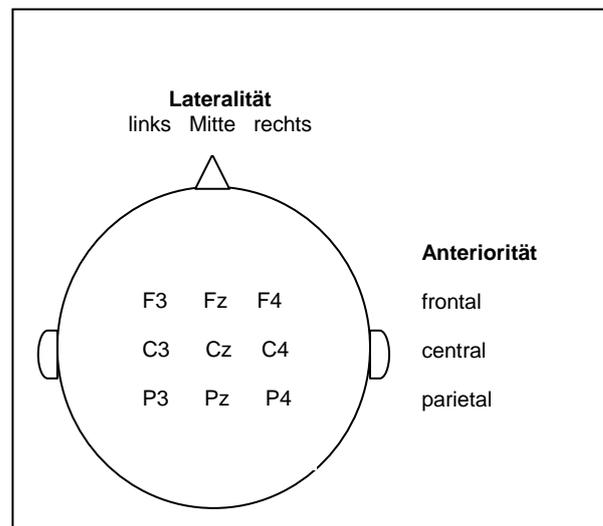
Unabhängige Variablen:

- Gruppe (Jüngere vs. Ältere)
- Block (einfach Wortbedeutung, einfach Farbe, gemischter Block) oder Art des Blocks (einfach vs. gemischt)
- Kongruenz (kongruent vs. inkongruent)

- Relevante Dimension (Farbe vs. Wortbedeutung)
- Aufgabenabfolge (nur gemischter Block, Wechsel vs. Wiederholung)
- Mischkosten (einfacher Block vs. Wiederholungsdurchgänge gemischter Block)

Abhängige Variablen:

- Verhaltensdaten (mittlere Reaktionszeiten, Fehlerrate)
- N2 (Peakamplitude und Latenz an den Elektroden Fz und Cz)
- CueP3, Ni, P3 (mittlere Amplitude, Lateralität und Anteriorität)
  - Die jeweils 3-fach abgestuften Faktoren Lateralität und Anteriorität bilden ein Array aus insgesamt 9 Elektroden um die zentrale Elektrode Cz (siehe Abbildung 5)



**Abbildung 5:** Schematische Darstellung der Topografie (Array um Cz), mit den 3-fach abgestuften Faktoren Lateralität und Anteriorität.

Die beiden einfachen Blöcke bestanden aus jeweils 52 Durchgängen, im gemischten Block wurden 146 Durchgänge durchgeführt. Die Darbietung der Reize erfolgte in randomisierter Reihenfolge. Dabei war das Verhältnis der Reize ausbalanciert. Tabelle 3 gibt eine Übersicht über die Innersubjektfaktoren und die Anzahl der Trials in den daraus resultierenden Bedingungen.

**Tabelle 3:** Übersicht über die Innersubjektfaktoren, die Anzahl der Durchgänge in der jeweiligen faktoriellen Kombination ist in Klammern angegeben.

Block	Art des Blocks	Dimension	Aufgabenabfolge	Kongruenz
1 (n = 52)	einfach (n = 52)	Wort- bedeutung (n = 52)	Wiederholung (n = 104)	kongruent (n = 26)
				inkongruent (n = 26)
2 (n = 52)	einfach (n = 52)	Farbe (n = 52)		kongruent (n = 26)
				inkongruent (n = 26)
3 (n = 146)	gemischt (n = 146)	Wort- bedeutung (n = 73)	Wiederholung (n = 36)	kongruent (n = 18)
				inkongruent (n = 18)
		Farbe (n = 73)	Wechsel (n = 37)	kongruent (n = 18)
				inkongruent (n = 19)
		Farbe (n = 73)	Wiederholung (n = 36)	kongruent (n = 18)
				inkongruent (n = 18)
Farbe (n = 73)	Wechsel (n = 37)	kongruent (n = 18)		
		inkongruent (n = 19)		

### 3.1.4 Datenerfassung und –aufzeichnung

#### 3.1.4.1 Erfassung der Verhaltensdaten

Die Messung der Verhaltensdaten, die Reizgenerierung und die zeitliche Abfolge der Reize erfolgte über den PC1. Für alle Durchgänge wurden die Reaktionszeiten (RT) in Millisekunden registriert. Die RT war definiert durch die Zeitdifferenz zwischen Beginn der Reizpräsentation und der Reaktion.

Reaktionen, welche sehr früh (bis 100 ms) und sehr spät (ab 2500 ms) erfolgten, wurden gekennzeichnet. Als Fehler galt ein Tastendruck entgegen der vorgegebenen Reiz-Reaktions-Zuordnung.

### 3.1.4.2 Elektrophysiologische Registrierung

Abgeleitet wurde das EEG von der Kopfhaut des Probanden mit 32 Elektroden (BioSemi „Pin-type“ Active electrodes) nach dem internationalen 10-20- bzw. 10-10-System (Jasper, 1958). Die EEG-Elektroden wurden in die vorgesehenen Steckplätze der elastischen EEG-Kappe (EASYCAP) eingebracht, welche zuvor mit Elektrodengel (Signa Gel, Parker) gefüllt wurden. Das Nasion (Übergang Nasenrücken – Stirn), das Inion (Vorsprung des Hinterhauptbeines) und die beiden präaurikulären Punkte (Vertiefung unterhalb des Jochbeins in Höhe der Ohren) dienen als anatomische Marker zur Ermittlung des Vertex (Cz) und der präzisen Fixierung der Elektrodenkappe. Je nach Kopfumfang des Probanden standen drei verschiedene Kappengrößen zur Verfügung (54-58 cm, 56-60 cm, 58-62 cm).

Die üblicherweise verwendete Erdungs-Elektrode wird in diesem System durch zwei Elektroden auf den Positionen C1 und C2 ersetzt. Die aktive Elektrode „Common Mode Sense“ (CMS) und die passive Elektrode „Driven Right Leg“ (DRL) bilden eine Feedback-Schleife, die die Erdung und die Referenz-Elektrode ersetzt.

Zusätzlich wurden sechs Elektroden zur Ableitung des EOG am oberen und unteren Orbitalrand und lateral des rechten und linken Auges angebracht, sowie 2 Elektroden auf den Mastoiden. Die Elektroden waren mit einem Verstärker (Speed-Mode 4, 2048 Hz pro Kanal) verbunden. In Abbildung 6 sind die verwendeten Elektroden schematisch dargestellt.

Das EEG und EOG wurde während jedes Durchgangs aufgezeichnet. Dabei lag die Elektrodenimpedanz unter 10 k $\Omega$ . Nach der analogen Verarbeitung wurden die EEG- und EOG-Signale über einen Verstärker (BioSemi Activ Two) mit der Bandbreite 0.01 – 140 Hz dem A/D-Wandler zugeführt, mit einer Abtastrate von 2048 Hz digitalisiert und zur weiteren Auswertung auf der Festplatte des PC2 im bdf-Format gespeichert. Die Aufnahme des EEG und EOG erfolgte mit der Software ActiView.



24 dB/Oktave. Nach der Filterung wurden auf den Zielreiz bezogene Segmente von 2100 ms Länge gebildet (1100 ms vor dem Zielreiz bis 1000 ms nach dem Zielreiz).

Bei der anschließenden Baseline-Korrektur in einem Intervall von -100 bis 0 ms vor dem Zielreiz wurde der Offset der einzelnen Segmente zu Null korrigiert. Dann wurde die Amplitude der Elektroden der Kopfhaut um die Aktivität der Augenelektroden bereinigt. Dazu wurde der Algorithmus nach Gratton, Coles und Donchin (1983) verwendet. Darauf folgte eine Artefaktkontrolle, wobei Kanäle, welche eine Amplitude von  $> 150 \mu\text{V}$  oder  $< -150 \mu\text{V}$  enthielten, eliminiert wurden. Anschließend wurden alle Kanäle auf die Mastoiden-Elektroden referenziert. Dann wurden Segmente gleicher Bedingung (nur korrekte Durchgänge) intraindividuell gemittelt.

### 3.1.5.2 Parameter

#### Verhaltensdaten

Die Reaktionszeit wurde definiert als Latenz zwischen Beginn der Reizpräsentation und dem Tastendruck, zu langsame Reaktionen (bei den Jüngeren über 2500 ms, bei den Älteren über 3500 ms (~ 90%-Perzentil der RT-Verteilung), zu schnelle Reaktionen (unter 100 ms) sowie inkorrekte Reaktionen wurden nicht mit einbezogen in die Berechnung der durchschnittlichen Reaktionszeit.

Die Fehlerrate wurde in Prozent als Anteil inkorrekt beantworteter Antworten an der Gesamtheit der Antworten berechnet. Der jeweils erste Durchgang eines jeden Blocks wurde nicht in die Auswertung mit einbezogen. Die Parameter wurden für jede Versuchsperson und jede Bedingung separat berechnet.

#### CueP3

Zur Berechnung der CueP3 wurde die Baseline auf -100 ms bis Erscheinen des *Hinweisreizes* gelegt. Die CueP3 wurde als mittlere Abweichung in  $\mu\text{V}$  von der Baseline im Zeitraum 250-550 ms nach Erscheinen des Hinweisreizes für jeden Probanden an den Elektroden F3, C3, P3, Fz, Cz, Pz, F4, C4 und P4 berechnet. Es wurden Werte für jeden Block berechnet, für den gemischten Block wurden

außerdem Werte für Aufgabenwechsel vs. Aufgabenwiederholung sowie relevante Dimension Wortbedeutung vs. Farbe berechnet.

## **N2**

Zur Berechnung der N2 wurde die Baseline auf den Bereich -100 ms bis Erscheinen des *Zielreizes* gelegt. Für jeden Probanden wurde die Peakamplitude in  $\mu\text{V}$  (lokales Minimum) und die Latenz bis zur Peakamplitude in ms im Bereich 200-400 ms nach Erscheinen des Zeilreizes an den Elektroden Fz und Cz berechnet. Es wurden Werte für kongruente und inkongruente Reize in den einfachen Blöcken Wortbedeutung und Farbe und im gemischten Block berechnet.

## **N<sub>i</sub>**

Zur Berechnung der N<sub>i</sub> wurde zunächst die Baseline auf den Bereich -100 ms bis Erscheinen des *Zielreizes* gelegt. Für die Untersuchung von Kongruenzeffekten wurde die Differenz aus den intraindividuell gemittelten inkongruenten und kongruenten Reizen gebildet. Aus der Differenzkurve wurde dann für jeden Probanden die N<sub>i</sub> als mittlere Abweichung von der Baseline an den Elektroden F3, C3, P3, Fz, Cz, Pz, F4, C4 und P4 im Zeitraum 400-600 ms nach der Reaktion für die einfachen Blöcke (Wortbedeutung und Farbe) berechnet.

## **P3**

Die P3 wurde nur für den gemischten Block berechnet, um Effekte der Aufgabenabfolge zu untersuchen.

Die Baseline wurde auf -100 ms bis Erscheinen des Zielreizes gelegt. Dann wurde die mittlere Amplitude im Bereich 300-600 ms an den Elektroden F3, C3, P3, Fz, Cz, Pz, F4, C4 und P4 nach Erscheinen des Zielreizes für jede Versuchsperson und für die Bedingungen Aufgabenwechsel und Aufgabenwiederholung berechnet.

### **3.1.5.3 Statistische Auswertung**

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit der Software IBM SPSS Statistics 20. Die Reaktionszeiten, Fehlerraten und EKP-Parameter wurden mit

Varianzanalysen (ANOVAs) statistisch ausgewertet. Bei mehr als zwei Faktorstufen wurden paarweise Vergleiche durchgeführt und die Werte der Mehrfachvergleiche nach Bonferroni angepasst.

Mithilfe des Mauchly-Tests auf Sphärizität wurde überprüft, ob die Varianzen der Differenzen zwischen jeweils zwei Faktorstufen homogen sind. Im Falle einer Verletzung der Sphärizitäts-Annahme wurden die Freiheitsgrade mittels Korrektur (Greenhouse-Geisser) angepasst.

Es wurden folgende ANOVAs durchgeführt:

1. Effekte des Blocks (Reaktionszeiten, Fehlerrate)
  - Innersubjektfaktor Block (einfach Wortbedeutung, einfach Farbe und gemischt)
  - Zwischensubjektfaktor Gruppe (Jüngere vs. Ältere)
  
2. Art des Blocks und Kongruenz (Reaktionszeiten, Fehlerrate, N2)
  - Innersubjektfaktoren Art des Blocks (einfach vs. gemischt) und Kongruenz (kongruent vs. inkongruent)
  - Zwischensubjektfaktor Gruppe (Jüngere vs. Ältere)
  
3. Art des Blocks und relevante Dimension (Reaktionszeiten, Fehlerrate, CueP3)
  - Innersubjektfaktoren Art des Blocks (einfach vs. gemischt) und relevante Dimension (Wortbedeutung vs. Farbe)
  - Zwischensubjektfaktor Gruppe (Jüngere vs. Ältere)
  
4. Art des Blocks und relevante Dimension für Differenzwerte zwischen kongruenten und inkongruenten Reizen (Reaktionszeiten, Fehlerraten, N<sub>i</sub>)
  - Innersubjektfaktoren Art des Blocks (einfach vs. gemischt) und relevante Dimension (Wortbedeutung vs. Farbe)
  - Zwischensubjektfaktor Gruppe (Jüngere vs. Ältere)
  
5. Aufgabenabfolge (Reaktionszeiten, Fehlerrate, CueP3, P3)

- Innersubjektfaktor Aufgabenabfolge (Aufgabenwiederholung vs. Aufgabenwechsel) nur im gemischten Block
- Zwischensubjektfaktor Gruppe (Jüngere vs. Ältere)

#### 6. Mischkosten (Reaktionszeiten, Fehlerrate, CueP3)

- Innersubjektfaktor Mischkosten (einfacher Block vs. Aufgabenwiederholungen gemischter Block)
- Zwischensubjektfaktor Gruppe (Jüngere vs. Ältere)

Bei der Analyse der EKP wurden zusätzlich die Innersubjektfaktoren Lateralität (links, Mitte, rechts) und Anteriorität (frontal, central, parietal) in die ANOVA mit aufgenommen. Ergaben sich Interaktionseffekte, so wurden separate ANOVAs durchgeführt.

## 3.2 Ergebnisse

### 3.2.1 Verhaltensdaten

#### 3.2.1.1 Zusammenfassung der Ergebnisse der Verhaltensdaten

Insgesamt zeigte sich, dass Ältere langsamer reagierten (Ältere 1248 ms, Jüngere 868 ms) und mehr Fehler machten (Ältere 8,27 %, Jüngere 4,37 %) als Jüngere. Sowohl für die Fehlerrate als auch für die mittlere Reaktionszeit zeigte sich unabhängig vom Alter folgendes Muster: Im einfachen Block Wortbedeutung war die mittlere Reaktionszeit sowie die Fehlerrate am niedrigsten, etwas höher waren die Werte für den einfachen Block Farbe und deutlich höher für den gemischten Block.

Dabei zeigte sich für die Reaktionszeiten ein Interaktionseffekt zwischen Gruppe und Block: Der Gruppenunterschied (höhere Reaktionszeit der Älteren) war im einfachen Block Wortbedeutung am niedrigsten, etwas größer im einfachen Block Farbe und noch größer im gemischten Block. Für die Fehlerrate zeigte sich der Gruppenunterschied (höhere Fehlerrate der Älteren) hingegen nur im gemischten Block.

Insgesamt zeigten die Versuchspersonen bei inkongruenten Reizen höhere Reaktionszeiten (inkongruent: 1229 ms, kongruent: 1035 ms) und machten vor

allem mehr Fehler (inkongruent 13,81 %, kongruent 1,81 %). Die Analyse der Differenzwerte (inkongruent – kongruent) für die mittleren Reaktionszeiten und Fehlerraten ergab, dass für Ältere die Differenzwerte jeweils höher waren als für Jüngere, sie zeigen also eine größere Interferenz durch die inkongruente Information als die Jüngeren. Außerdem war für alle Versuchspersonen die Differenz größer für die Bedingung Farbe (Stroop-Effekt) und im gemischten Block (Reaktionszeiten und Fehlerrate). Der Gruppenunterschied der Differenz war nur für den gemischten Block signifikant (Reaktionszeiten und Fehlerrate) und für die relevante Dimension Farbe (nur Reaktionszeiten). Ältere zeigen also einen größeren Stroop-Effekt bezogen auf die Fehlerrate. Die Aufgabensituation des gemischten Blockes mit Aufgabenwechsel und einer erhöhten Arbeitsgedächtnisbelastung beeinträchtigt Ältere ebenfalls mehr als Jüngere, was sich sowohl in den Fehlerraten als auch in den Reaktionszeiten zeigt.

War die Farbe die relevante Dimension, so war die Reaktionszeit höher (1169 ms) als wenn die relevante Dimension die Wortbedeutung war (1079 ms), was aber nur für den einfachen Block signifikant wurde. Für Ältere war dieser Unterschied noch größer. Die Versuchspersonen machten in der Dimension Farbe mehr Fehler (Farbe 9,7 %, Wortbedeutung 5,9 %) – sowohl im einfachen als auch im gemischten Block. Dieser Effekt war für die Gruppe der Älteren noch größer als für die Gruppe der Jüngeren.

Nur die Älteren zeigten eine etwas höhere Reaktionszeit bei einem Aufgabenwechsel (Aufgabenwechsel 1665 ms, Aufgabenwiederholung 1560 ms), für die Gruppe der Jüngeren zeigte sich kein Effekt der Aufgabenabfolge. In den Fehlerraten zeigte sich für keine Gruppe ein Effekt der Aufgabenabfolge.

Beide Gruppen zeigten Mischkosten in Form von höheren Reaktionszeiten und Fehlerraten, die Mischkosten waren für die Älteren jedoch noch größer.

### **3.2.1.2 Reaktionszeiten**

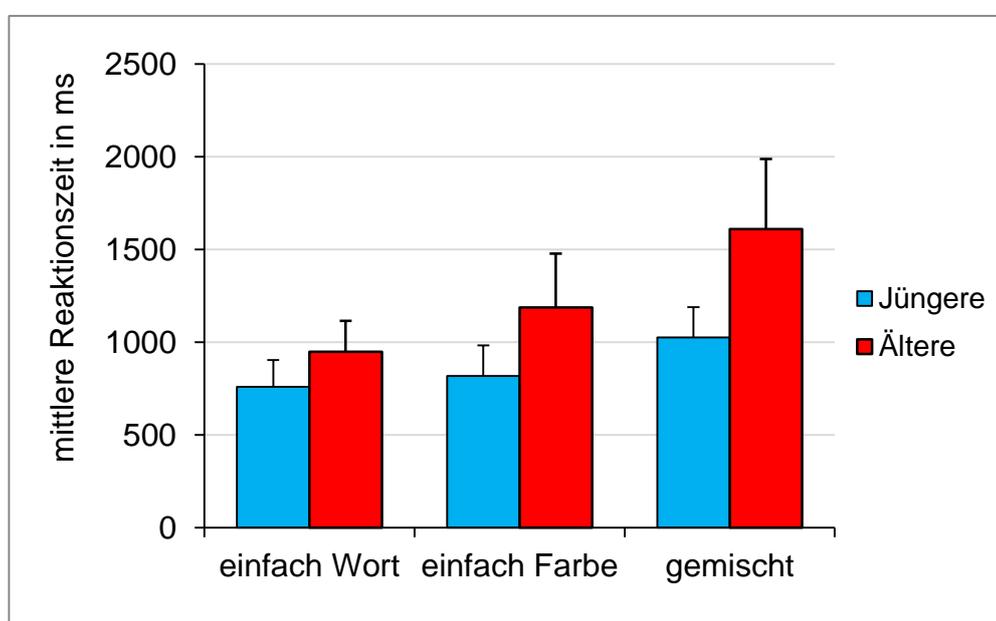
#### **Effekte des Blocks**

Zunächst wurde eine ANOVA mit dem Innersubjektfaktor Block und dem Zwischensubjektfaktor Gruppe durchgeführt. Die statistische Auswertung der Reaktionszeiten ergab einen Haupteffekt der Gruppe  $F(1,70) = 66.8, p < .001$ .

Die Gruppe der Älteren zeigte eine höhere mittlere Reaktionszeit (1248 ms) als die Gruppe der Jüngeren (868 ms).

Des Weiteren ergab sich ein Haupteffekt des Blocks  $F(2,140) = 166.9, p < .001$ . Alle Einzelvergleiche zwischen den Blöcken wurden signifikant ( $p < .001$ ). Im einfachen Block mit der relevanten Dimension Wortbedeutung war die durchschnittliche Reaktionszeit am niedrigsten (855 ms), etwas höher war sie im einfachen Block Farbe (1003 ms) und am höchsten im gemischten Block (1317 ms).

Es ergab sich zudem eine statistisch bedeutsame Interaktion zwischen Gruppe und Block  $F(2,140) = 29.2, p < .001$  (Abbildung 7).



**Abbildung 7:** Mittlere Reaktionszeiten und Standardabweichungen in ms für Jüngere und Ältere in den Blöcken einfach Wortbedeutung, einfach Farbe und gemischt.

Der Gruppenunterschied wurde in allen Blöcken signifikant ( $p < .001$ ), die Gruppe der Älteren war in jedem Block langsamer. Für die Gruppe der Jüngeren zeigte sich ein signifikanter Effekt des Blocks  $F(2,70) = 89.3, p < .001$ . Alle Einzelvergleiche zwischen den Blöcken waren statistisch bedeutsam ( $p < .044$ ), dabei war die Reaktionszeit im einfachen Block Wortbedeutung am niedrigsten, etwas höher im einfachen Block Wortbedeutung und am höchsten im gemischten Block. Dasselbe Muster zeigte sich auch für die Gruppe der Älteren:  $F(2,70) = 99.7, p < .001$ . Auch hier war der Unterschied zwischen den Blöcken bei allen Einzelvergleichen signifikant ( $p < .001$ ). Die Differenz der mittleren

Reaktionszeiten zwischen Jüngeren und Älteren betrug im einfachen Block Wortbedeutung 189 ms. Im einfachen Block Farbe war sie mit 368 ms größer und im gemischten Block mit 584 ms am höchsten.

### Art des Blocks und Kongruenz

Es wurde eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Art des Blocks und Kongruenz und dem Zwischensubjektfaktor Gruppe durchgeführt.

Die Auswertung ergab einen signifikanten Haupteffekt der Kongruenz  $F(1,70) = 330.2$ ,  $p < .001$ . Bei inkongruenten Reizen zeigten die Versuchspersonen im Durchschnitt eine höhere Reaktionszeit (1229 ms) als bei kongruenten Reizen (1035 ms).

Die Interaktion zwischen Gruppe und Kongruenz war nicht signifikant  $F(1,70) = 1.46$ ,  $p = .230$ .

Es ergab sich zudem eine Interaktion zwischen Kongruenz und Art des Blocks (einfach vs. gemischt)  $F(1,70) = 32.9$ ,  $p < .001$  (Tabelle 4). Sowohl in den einfachen als auch im gemischten Block war der Effekt der Kongruenz statistisch bedeutsam ( $p < .001$ ) und sowohl für kongruente als auch für inkongruente Reize waren die Reaktionszeiten im gemischten Block signifikant höher als in den einfachen Blöcken ( $p < .001$ ).

**Tabelle 4:** Tabellarische Übersicht über die mittleren Reaktionszeiten in ms (Mittelwerte und Standardabweichungen) für die Gesamtstichprobe in den einfachen Blöcken und im gemischten Block für kongruente und inkongruente Reize.

Block	Kongruenz	Mittelwert	Standardabweichung	N
einfach	kongruent	860	210	72
	inkongruent	996	237	72
gemischt	kongruent	1210	412	72
	inkongruent	1460	450	72

### Art des Blocks und relevante Dimension

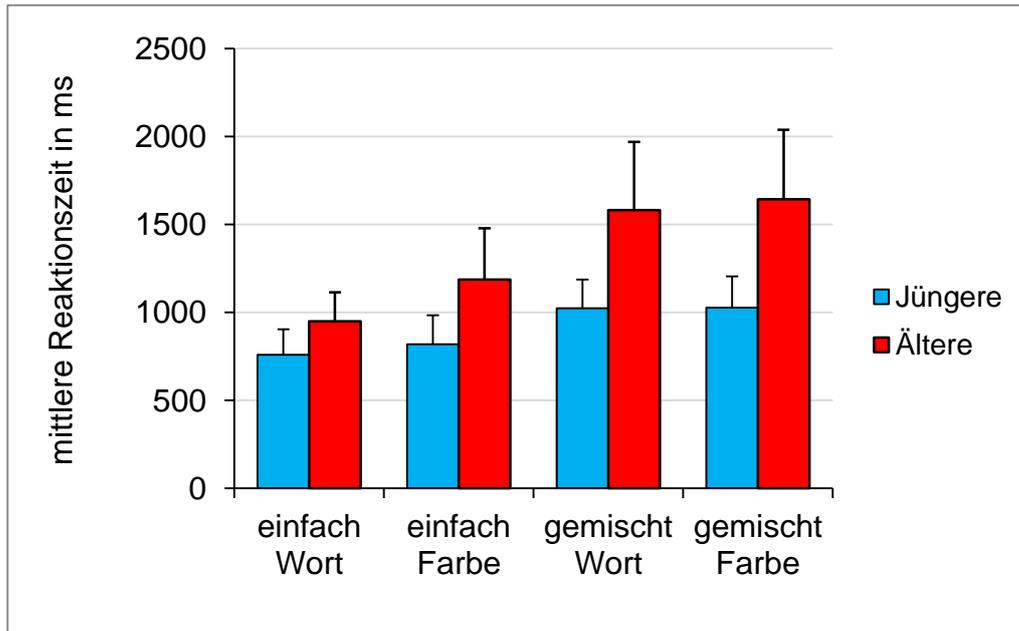
Eine weitere ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Art des Blocks und relevante Dimension und dem Zwischensubjektfaktor Gruppe wurde durchgeführt.

Es ergab sich ein Haupteffekt auf die Reaktionszeiten für die relevante Dimension. War die relevante Dimension die Farbe, so war die mittlere Reaktionszeit höher (1169 ms) als wenn die relevante Dimension die Wortbedeutung war (1079 ms)  $F(1,70) = 30.1$ ,  $p < .001$ .

Für die relevante Dimension ergab sich eine Interaktion mit der Art des Blocks  $F(1,70) = 26.7, p < .001$ . Nur in den einfachen Blöcken wurde der Unterschied zwischen Wortbedeutung und Farbe signifikant  $F(1,71) = 35.6, p < .001$ . Für die Wortbedeutung war die mittlere Reaktionszeit niedriger (854 ms) als für die Farbe (1002 ms).

Im gemischten Block war der Unterschied hingegen nur tendenziell statistisch bedeutsam  $F(1,71) = 3.6, p = .060$  (Wortbedeutung 1303 ms vs. Farbe 1335 ms). Es zeigte sich eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und relevanter Dimension  $F(1,70) = 12.7, p = .001$ . Beide Gruppen zeigten höhere Reaktionszeiten, wenn die relevante Dimension die Farbe war (Jüngere  $F(1,35) = 4.5, p = .040$ , Ältere  $F(1,35) = 25.7, p < .001$ ). Sowohl in der Bedingung Wortbedeutung als auch in der Bedingung Farbe zeigten die Älteren signifikant höhere Reaktionszeiten ( $p < .001$ ). Jedoch war der Reaktionszeitunterschied zwischen Jüngeren und Älteren für die Dimension Farbe größer (492 ms) als für die Dimension Wortbedeutung (374 ms).

Zudem ergab sich eine 3-fache Interaktion zwischen Gruppe, relevanter Dimension und der Art des Blocks  $F(1,70) = 7.6, p = .007$  (Abbildung 8). Nur in den einfachen Blöcken wurde die Interaktion zwischen Gruppe und relevanter Dimension signifikant  $F(1,70) = 15.7, p < .001$ . Im gemischten Block war dieser Effekt statistisch nicht bedeutsam  $F(1,70) = 2.8, p = .101$ . So ließ sich die 3-fache Interaktion auf folgendes zurückführen: Der Unterschied in der mittleren Reaktionszeit zwischen Farbe und Wortbedeutung ist bei den Älteren in den einfachen Blöcken größer.



**Abbildung 8:** Mittlere Reaktionszeiten und Standardabweichungen in ms für Jüngere und Ältere in den einfachen Blöcken und im gemischten Block für die relevanten Dimensionen Wortbedeutung und Farbe.

### Art der Blocks und relevante Dimension (für Differenzwerte inkongruent – kongruent)

Zunächst wurde die Differenz aus den mittleren Reaktionszeiten (inkongruent – kongruent) gebildet. Anschließend wurde eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Art des Blocks und relevante Dimension sowie dem Zwischensubjektfaktor Gruppe durchgeführt.

Es ergab sich ein Haupteffekt der Gruppe  $F(1,70) = 18.04$ ,  $p < .001$ . Die Differenz der mittleren Reaktionszeiten auf kongruente und inkongruente Reize war bei Jüngeren kleiner (169 ms) als bei Älteren (258 ms).

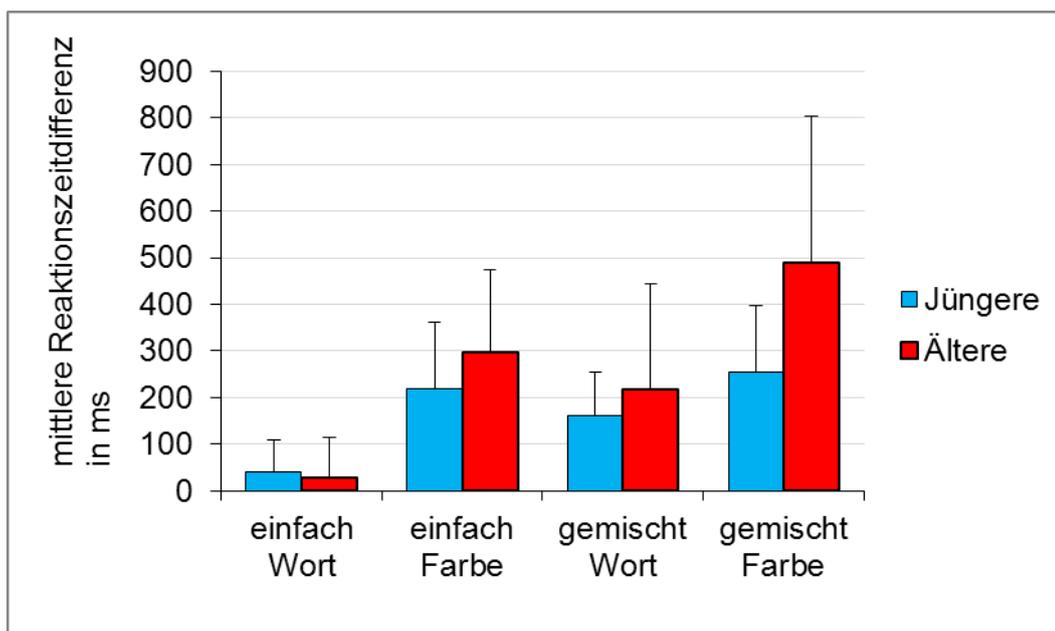
Der Effekt des Blocks war statistisch signifikant  $F(1,70) = 47.4$ ,  $p < .001$ . Im einfachen Block war die Differenz zwischen kongruenten und inkongruenten Reizen kleiner (147 ms) als im gemischten Block (278 ms).

Es zeigte sich außerdem ein Haupteffekt der relevanten Dimension  $F(1,70) = 79.5$ ,  $p < .001$ . War die relevante Dimension die Wortbedeutung, so war die Differenz zwischen kongruenten und inkongruenten Reizen kleiner (112 ms) als wenn die relevante Dimension die Farbe war (315 ms).

Des Weiteren zeigte sich eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und relevanter Dimension  $F(1,70) = 8.57$ ,  $p = .005$ . Die Interaktion war darauf zurückzuführen, dass der Unterschied zwischen den beiden Gruppen nur für die

relevante Dimension Farbe statistisch bedeutsam war  $F(1,70) = 18.1, p < .001$ . Hier war die Differenz zwischen kongruenten und inkongruenten Reizen für Ältere größer (394 ms) als für Jüngere (237 ms). Für die relevante Dimension Wortbedeutung zeigte sich kein statistisch bedeutsamer Unterschied zwischen Jüngeren (100 ms) und Älteren (123 ms).

Die Interaktion zwischen Gruppe und Art des Blocks war ebenfalls statistisch bedeutsam  $F(1,70) = 8.36, p = .005$  (Abbildung 9). Die Interaktion resultierte daraus, dass der Gruppenunterschied nur im gemischten Block statistisch bedeutsam war  $F(1,70) = 17.28, p < .001$ . Die Älteren zeigten hier eine größere Differenz zwischen kongruenten und inkongruenten Reizen (353 ms) als die Jüngeren (208 ms). Im einfachen Block war der Unterschied zwischen Jüngeren (130 ms) und Älteren (164 ms) nicht signifikant.



**Abbildung 9:** Mittlere Reaktionszeitdifferenzen und Standardabweichungen in ms für Jüngere und Ältere in den einfachen Blöcken und im gemischten Block für die relevanten Dimensionen Wortbedeutung und Farbe.

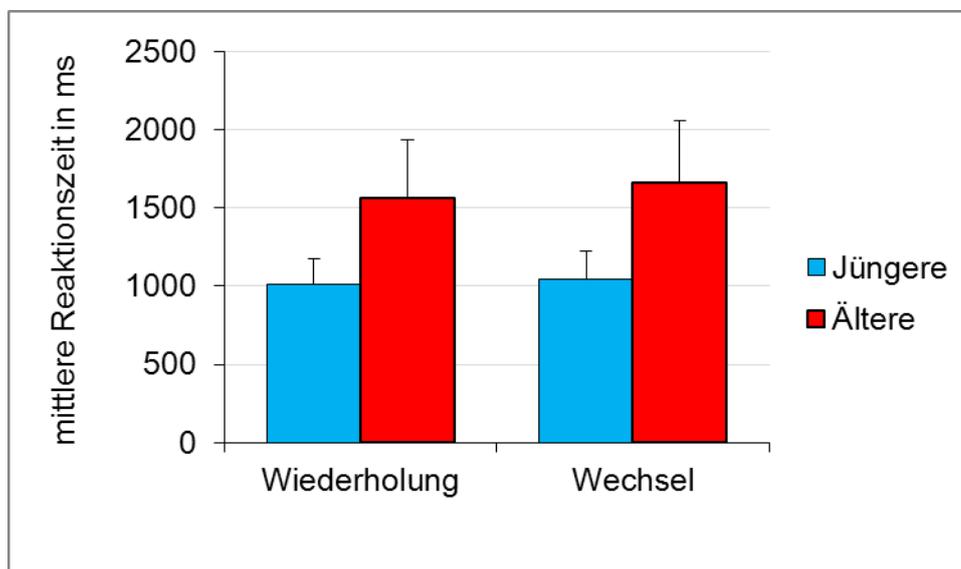
### Aufgabenabfolge

Für den gemischten Block wurde eine ANOVA mit dem Innersubjektfaktor Aufgabenabfolge und dem Zwischensubjektfaktor Gruppe durchgeführt und lieferte folgende Ergebnisse:

Die mittleren Reaktionszeiten zeigten einen Haupteffekt der Aufgabenabfolge  $F(1,70) = 22.3, p < .001$ . Bei einer Wiederholung der Aufgabe reagierten die

Versuchspersonen schneller (1300 ms) als bei einem Aufgabenwechsel (1338 ms).

Es ergab sich außerdem eine Interaktion zwischen Gruppe und Aufgabenabfolge  $F(1,70) = 7.06$ ,  $p = .010$  (Abbildung 10), die daraus resultierte, dass nur die Gruppe der Älteren einen signifikanten Unterschied in den Reaktionszeiten zwischen Wechsel (1665 ms) und Wiederholung (1560 ms) der Aufgabe zeigten  $F(1,35) = 20.5$ ,  $p < .001$ . Für die Jüngeren wurde dieser Unterschied nicht signifikant  $F(1,35) = 3.7$ ,  $p = .062$  (Aufgabenwechsel 1041 ms, Aufgabenwiederholung 1011 ms).



**Abbildung 10:** Mittlere Reaktionszeiten und Standardabweichungen in ms für Jüngere und Ältere im gemischten Block bei Aufgabenwiederholungen und Aufgabenwechsel.

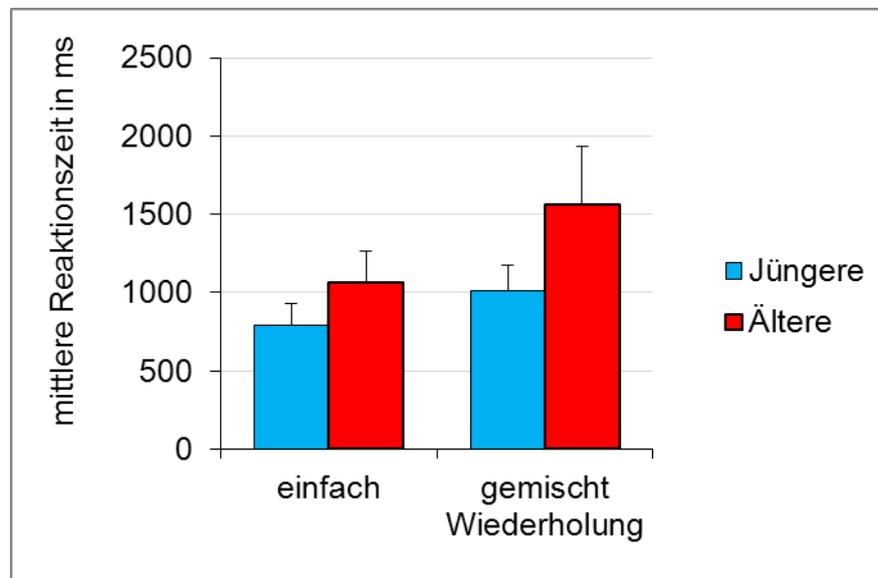
### Mischkosten

Eine weitere ANOVA mit dem Innersubjektfaktor Mischkosten und dem Zwischensubjektfaktor Gruppe wurde durchgeführt.

Die statistische Analyse ergab einen Effekt der Mischkosten  $F(1,70) = 204.4$ ,  $p < .001$ . Die Versuchspersonen zeigten höhere Reaktionszeiten bei Aufgabenwiederholungen des gemischten Blocks (1285 ms) als in den einfachen Blöcken (925 ms).

Es zeigte sich außerdem eine Interaktion zwischen Gruppe und Mischkosten  $F(1,70) = 29.7$ ,  $p < .001$  (Abbildung 11). Sowohl für Jüngere als auch für Ältere zeigte sich ein signifikanter Effekt der Mischkosten ( $p < .001$ ). Der Gruppenunterschied wurde in den einfachen Blöcken sowie auch in den

Aufgabenwiederholungen des gemischten Blocks signifikant ( $p < .001$ ). Jedoch war die Differenz zwischen den Durchgängen des einfachen Blocks und den Aufgabenwiederholungen des gemischten Blocks für die Älteren wesentlich größer (497 ms) als für die Jüngeren (222 ms).



**Abbildung 11:** Mittlere Reaktionszeiten und Standardabweichungen in ms für Jüngere und Ältere in den einfachen Blöcken und bei Aufgabenwiederholungen im gemischten Block.

### 3.2.1.3 Fehler

#### Effekte des Blocks

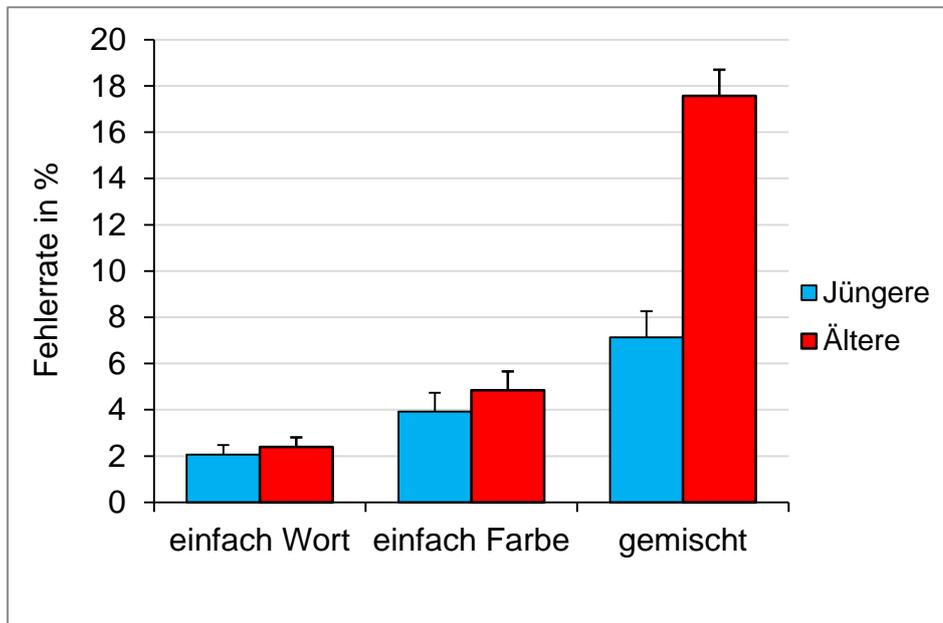
Zur statistischen Auswertung der Fehlerraten wurde zunächst eine ANOVA mit dem Innersubjektfaktor Block und dem Zwischensubjektfaktor Gruppe durchgeführt.

Diese lieferte einen hoch signifikanten Effekt der Gruppe  $F(1,79) = 22.6$ ,  $p < .001$ . Die Gruppe der Älteren machte mehr Fehler (8,27 %) als die Gruppe der Jüngeren (4,37 %).

Außerdem zeigte sich für die Fehlerraten ein Effekt des Blocks (einfach Wortbedeutung 2,23 %, einfach Farbe 4,38 % und gemischter Block 12,35 %)  $F(2,140) = 102.7$ ,  $p < .001$ . Alle Einzelvergleiche zwischen den Faktorstufen wurden signifikant ( $p < .002$ ).

Die Interaktion zwischen Gruppe und Block war statistisch bedeutsam  $F(2,170) = 29.1$ ,  $p < .001$  (Abbildung 12). Die Interaktion war darauf zurückzuführen, dass

der Unterschied zwischen den beiden Gruppen nur im gemischten Block statistisch signifikant wurde  $F(1,70) = 41.1, p < .001$ .



**Abbildung 12:** Fehlerraten und Standardabweichungen in % für Jüngere und Ältere in den einfachen Blöcken und im gemischten Block.

### Art des Blocks und Kongruenz

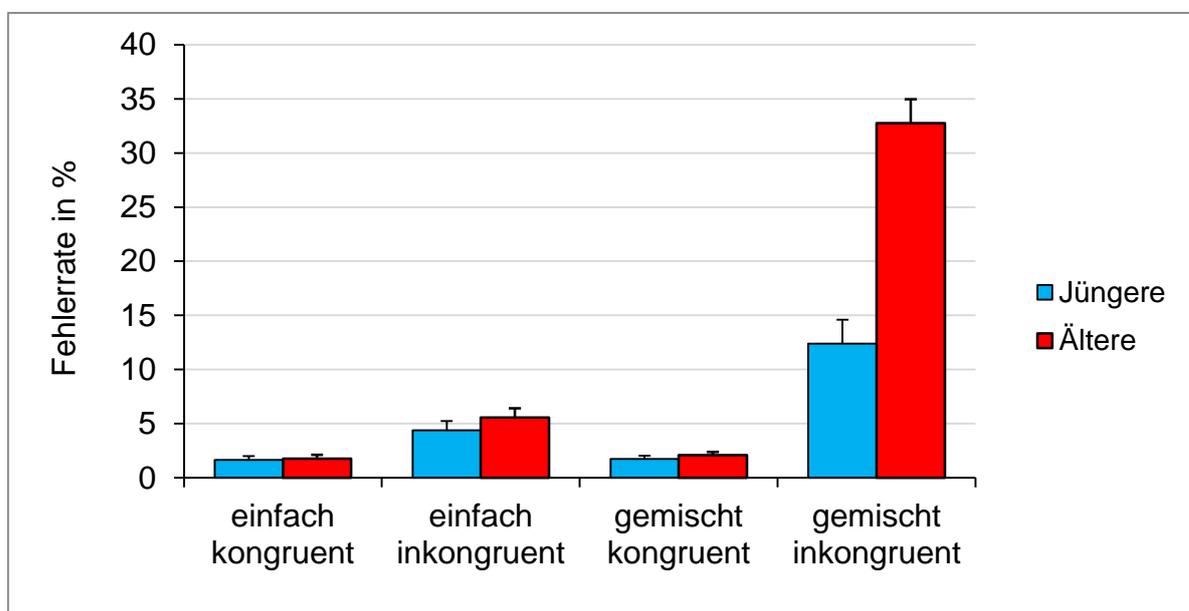
Eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Art des Blocks und der Kongruenz und dem Zwischensubjektfaktor Gruppe lieferte folgende Ergebnisse:

Es ergab sich ein Haupteffekt der Kongruenz  $F(1,70) = 196.1, p < .001$ . Die Versuchspersonen machten mehr Fehler, wenn die Reize inkongruent waren (13,8 %) im Vergleich zu kongruenten Reizen (1,8 %).

Des Weiteren ergab sich eine Interaktion zwischen Kongruenz und Gruppe  $F(1,70) = 40.01, p < .001$ . Die Interaktion war darauf zurückzuführen, dass der Unterschied zwischen Jüngeren und Älteren nur bei inkongruenten Reizen signifikant wurde  $F(1,70) = 40.84, p < .001$ . Ältere machten hier mehr Fehler (14,7 %) als Jüngere (7,1 %).

Die Interaktion zwischen Art des Blocks und Kongruenz war statistisch signifikant  $F(2,70) = 116.9, p < .001$ : Nur bei inkongruenten Reizen wurde der Unterschied zwischen einfachem und gemischtem Block signifikant  $F(1,71) = 84.1, p < .001$ . Im einfachen Block war die Fehlerrate für inkongruente Reize niedriger (4,9 %) als im gemischten Block (22,6 %).

Es ergab sich außerdem eine 3-fache Interaktion zwischen der Art des Blocks, Kongruenz und Gruppe  $F(2,70) = 34.7, p < .001$  (Abbildung 13). Dieser Unterschied war darauf zurückzuführen, dass sich nur im gemischten Block eine statistisch signifikante Interaktion zwischen Kongruenz und Gruppe ergab  $F(1,70) = 40.56, p < .001$ . In den einfachen Blöcken wurde die Interaktion zwischen Kongruenz und Gruppe nicht signifikant  $F(1,70) = 1.93, p = .17$ . Sowohl Jüngere als auch Ältere zeigten im gemischten Block eine signifikant höhere Fehlerrate bei inkongruenten Reizen ( $p < .001$ ). Der Gruppenunterschied wurde jedoch nur bei inkongruenten Reizen signifikant  $F(1,70) = 42.13, p < .001$ . Ältere machten hier mehr Fehler (32,7 %) als Jüngere (12,4 %).



**Abbildung 13:** Fehlerraten und Standardabweichungen in % für Jüngere und Ältere in den einfachen Blöcken und im gemischten Block und bei kongruenten und inkongruenten Reizen.

### Art des Blocks und relevante Dimension

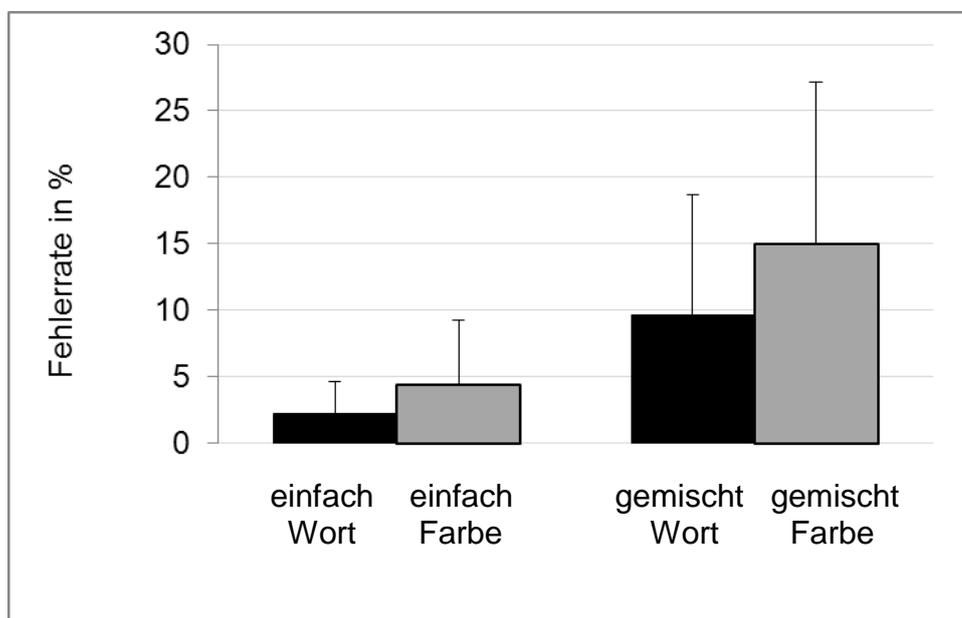
Es wurde eine weitere ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Art des Blocks und relevante Dimension und dem Zwischensubjektfaktor Gruppe durchgeführt.

Ein Haupteffekt ergab sich für die relevante Dimension  $F(1,70) = 18.96, p < .001$ . Über alle Blöcke hinweg machten die Versuchspersonen mehr Fehler, wenn die relevante Dimension die Farbe war (9,7 %) im Vergleich zur Dimension Wortbedeutung (5,9 %).

Es ergab sich außerdem eine Interaktion zwischen der relevanten Dimension und der Art des Blocks (einfach vs. gemischt)  $F(1,70) = 4.5, p = .039$ . Sowohl für die

Dimension Farbe als auch für die Dimension Wortbedeutung war der Unterschied zwischen einfachem Block und gemischtem Block statistisch bedeutsam ( $p < .001$ ). Der Unterschied zwischen den Dimensionen Farbe und Wortbedeutung wurde sowohl in den einfachen Blöcken als auch im gemischten Block signifikant ( $p < .001$ ). Allerdings war der Unterschied zwischen der Bedingung Farbe und Wortbedeutung im gemischten Block größer (3,2 %) als in den einfachen Blöcken (2,4 %, siehe Abbildung 14).

Es ergaben sich keine weiteren Interaktionen zwischen Gruppe, Art des Blocks und relevanter Dimension.



**Abbildung 14:** Fehlerraten und Standardabweichungen in % für die Gesamtstichprobe in den einfachen Blöcken und im gemischten Block für die Dimensionen Wortbedeutung und Farbe.

### Art der Blocks und relevante Dimension (für Differenzwerte inkongruent – kongruent)

Zunächst wurde die Differenz aus den mittleren Fehlerraten (inkongruent – kongruent) gebildet. Anschließend wurde eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Art des Blocks und relevante Dimension sowie dem Zwischensubjektfaktor Gruppe durchgeführt.

Es ergab sich ein Haupteffekt der Gruppe  $F(1,70) = 36.6$ ,  $p < .001$ . Die Differenz der Fehlerrate zwischen kongruenten und inkongruenten Reizen war für Ältere höher (17,2 %) als für Jüngere (6,7 %).

Ein weiterer Haupteffekt zeigte sich für die relevante Dimension  $F(1,70) = 27.2$ ,  $p < .001$ . War die relevante Dimension die Wortbedeutung, so war der Unterschied zwischen kongruenten und inkongruenten Reizen kleiner (7,5 %) als wenn die relevante Dimension die Farbe war (16,5 %).

Außerdem ergab sich ein Haupteffekt des Blocks  $F(1,70) = 116.9$ ,  $p < .001$ . Im einfachen Block war die Differenz zwischen kongruenten und inkongruenten Reizen kleiner (3,3 %) als im gemischten Block (20,7 %).

Die Interaktion zwischen der Gruppe und Art des Blocks war statistisch bedeutsam  $F(1,70) = 34.7$ ,  $p < .001$ . Diese ließ sich darauf zurückführen, dass der Gruppenunterschied nur im gemischten Block signifikant war  $F(1,70) = 40.7$ ,  $p < .001$ . Für die Älteren war hier die Differenz zwischen kongruenten und inkongruenten Reizen größer (30,6 %) als für die Jüngeren (10,6 %). Im einfachen Block war der Gruppenunterschied der Differenzwerte für Ältere (3,8 %) und Jüngere (2,7 %) nicht signifikant.

### **Aufgabenabfolge**

Es wurde eine ANOVA mit dem Innersubjektfaktor Aufgabenabfolge und dem Zwischensubjektfaktor Gruppe durchgeführt.

Der Effekt der Aufgabenabfolge im gemischten Block war nicht signifikant  $F(1,70) = 2.64$ ,  $p = .109$ . Die Fehlerrate war bei allen Versuchspersonen nur wenig höher bei einem Aufgabenwechsel (12,8 %) im Vergleich zu einer Aufgabenwiederholung (11,9 %). Die Interaktion zwischen Aufgabenabfolge und Gruppe wurde nicht signifikant  $F(1,70) = .135$ ,  $p = .714$ .

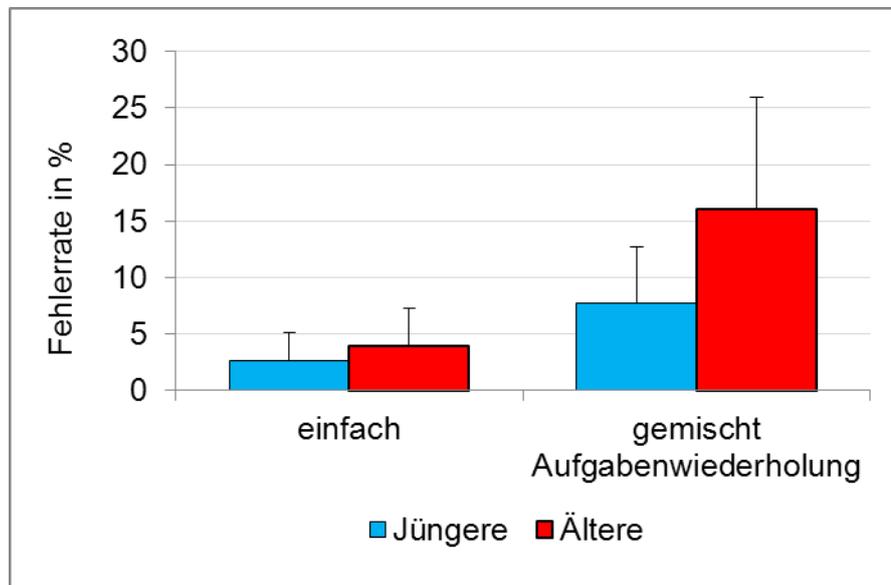
### **Mischkosten**

Eine ANOVA mit dem Innersubjektfaktor Mischkosten und dem Zwischensubjektfaktor Gruppe ergab folgendes:

Es zeigte sich ein signifikanter Effekt der Mischkosten: Die Fehlerrate in den einfachen Blöcken war niedriger als in den Wiederholungsdurchgängen des gemischten Blocks  $F(1,70) = 131.5$ ,  $p < .001$ .

Für die Mischkosten ergab sich eine signifikante Interaktion mit der Gruppe  $F(1,70) = 44.3$ ,  $p < .001$  (Abbildung 15) Diese Interaktion ließ sich darauf zurückführen, dass der Gruppenunterschied nur bei Aufgabenwiederholungen im gemischten Block signifikant wurde  $F(1,70) = 20.1$ ,  $p < .001$ . Hier machten die

Älteren mehr Fehler (17,2 %) als die Jüngeren (6,6 %). In den einfachen Blöcken wurde der Gruppenunterschied nicht signifikant  $F(1,70) = .80, p = .37$ .



**Abbildung 15:** Fehlerraten und Standardabweichungen in % für Jüngere und Ältere im einfachen Block und bei Aufgabenwiederholungen im gemischten Block.

## 3.2.2 EKP

### 3.2.2.1 CueP3

#### Zusammenfassung

Eine CueP3 zeigte sich nur im gemischtem Block. Es zeigte sich kein Haupteffekt der Gruppe. Jedoch zeigten die beiden Gruppen unterschiedliche Aktivierungsmuster: Die Gruppe der Jüngeren zeigte parietal die stärkste Aktivierung, wohingegen in der Gruppe der Älteren die CueP3 gleichmäßiger über den Skalp verteilt war.

Die Jüngeren zeigten eine größere CueP3 wenn die relevante Dimension die Wortbedeutung war. Außerdem war in der Dimension Wortbedeutung die CueP3 an frontalen und centralen Elektroden stärker ausgeprägt.

Bei Aufgabenwechslern war die CueP3 größer als bei Aufgabenwiederholungen. Dies zeigte sich bei Jüngeren nur an parietalen Elektroden, bei Älteren über den gesamten Skalp verteilt.

Die CueP3 zeigt sich auch bei den Aufgabenwiederholungen des gemischtem Blocks, so dass der Vergleich zu den einfachen Blöcken signifikant wurde, in welchen sich keine CueP3 zeigte. Die Jüngeren zeigten im Vergleich zu den

Älteren eine höhere Amplitude in den Aufgabenwiederholungen des gemischten Blocks.

### **Art des Blocks, relevante Dimension und Topografie**

Es wurde eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Art des Blocks, relevante Dimension, Lateralität und Anteriorität und dem Zwischensubjektfaktor Gruppe durchgeführt.

Im gemischten Block zeigte sich eine Positivierung im Bereich 250-550 ms Sekunden nach dem Hinweis, in den einfachen Blöcken hingegen nicht  $F(1,70) = 78.54$ ,  $p < .001$ . Die weiteren Analysen wurden daher nur für den gemischten Block durchgeführt.

Es zeigte sich kein Effekt der Gruppe  $F(2,70) = 2.67$ ,  $p = .107$ .

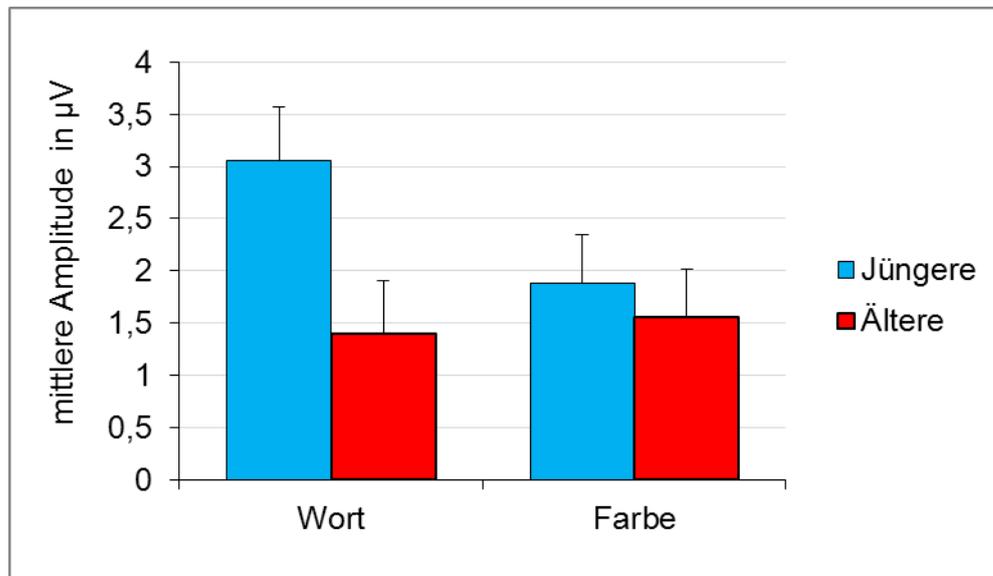
Jedoch ergab sich ein Haupteffekt der Anteriorität  $F(2,140) = 9.25$ ,  $p = .001$ . Die Vergleiche zwischen den Faktorstufen zeigten einen signifikanten Unterschied ( $p = .014$ ) zwischen den frontalen Elektroden (F3, Fz und F4) und den centralen Elektroden (C3, Cz und C4) sowie zwischen den frontalen Elektroden und parietalen Elektroden (P3, Pz und P4,  $p = .002$ ). Die stärkste Positivierung zeigte sich parietal (2,48  $\mu\text{V}$ ), etwas schwächer war sie an den centralen Elektroden (1,96  $\mu\text{V}$ ) und noch schwächer an den frontalen Elektroden (1,49  $\mu\text{V}$ ).

Es ergab sich außerdem eine Interaktion zwischen der Anteriorität und der Gruppe  $F(2,140) = 6.36$ ,  $p = .006$ . Diese ergab sich daraus, dass sich nur für die Gruppe der Jüngeren ein signifikanter Effekt der Anteriorität zeigte. Der Unterschied wurde zwischen frontalen und centralen sowie zwischen frontalen und parietalen Elektroden signifikant ( $p < .001$ ). Die stärkste Positivierung zeigte sich an parietalen Elektroden (3,3  $\mu\text{V}$ ), etwas schwächer war sie an den centralen Elektroden (2,58  $\mu\text{V}$ ) und noch schwächer an den frontalen Elektroden (1,52  $\mu\text{V}$ ).

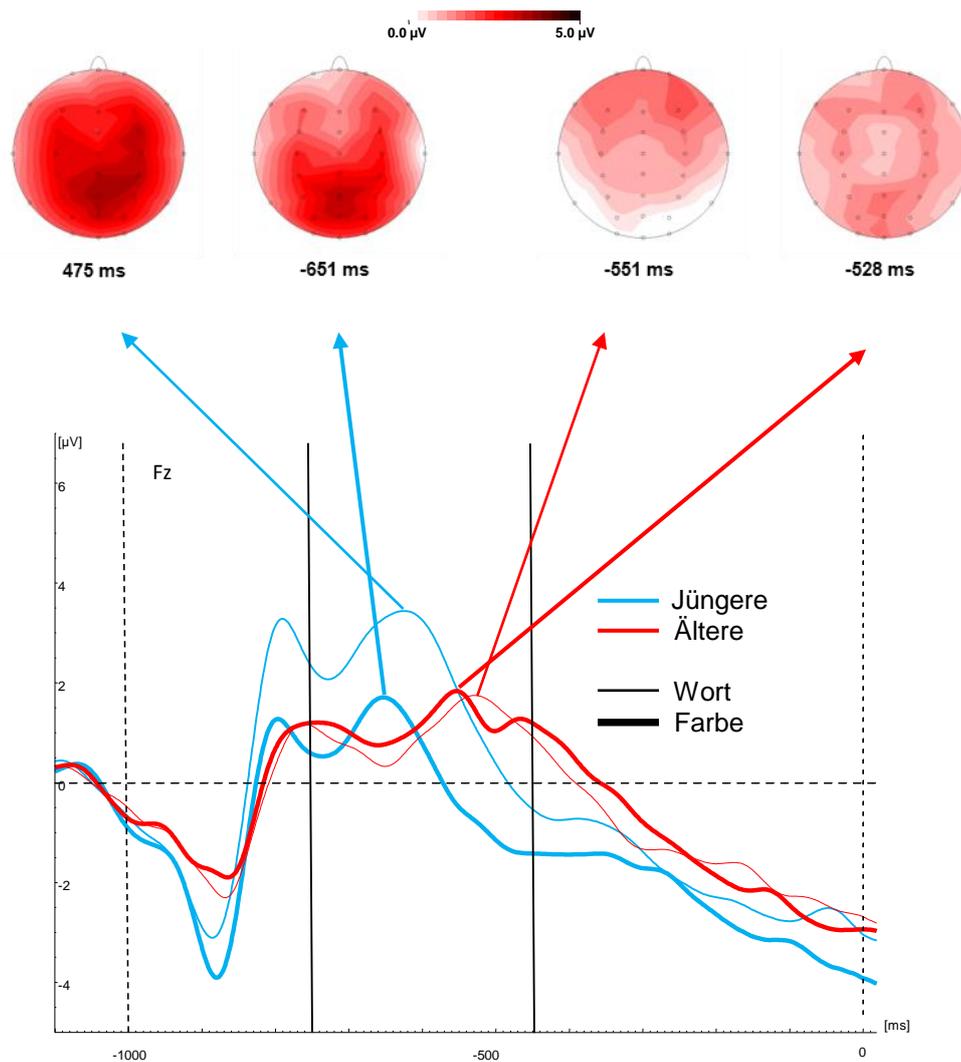
Für die Gruppe der Älteren zeigte sich kein Effekt der Anteriorität  $F(2, 70) = .45$ ,  $p = .590$ . An parietalen Elektroden war die Positivierung dennoch am größten (1,65  $\mu\text{V}$ ), gefolgt von den frontalen Elektroden (1,45  $\mu\text{V}$ ) und centralen Elektroden (1,33  $\mu\text{V}$ ).

Die relevante Dimension hatte keinen Effekt auf die CueP3  $F(1,70) = 2.33$ ,  $p = .132$ . Es zeigte sich aber eine Interaktion zwischen Gruppe und relevanter Dimension  $F(1,70) = 4.04$ ,  $p = .048$  (Abbildung 16 und 17).

In der Gruppe der Älteren ergab sich kein Effekt der relevanten Dimension auf die CueP3 ( $F(1,35) = .10, p = .752$ ). Hingegen zeigte sich bei den Jüngeren ein statistisch bedeutsamer Effekt ( $F(1,35) = 7.45, p = .010$ ). War die relevante Dimension die Wortbedeutung, so war die CueP3 ausgeprägter ( $3,05 \mu\text{V}$ ) als in der Dimension Farbe ( $1,89 \mu\text{V}$ ).

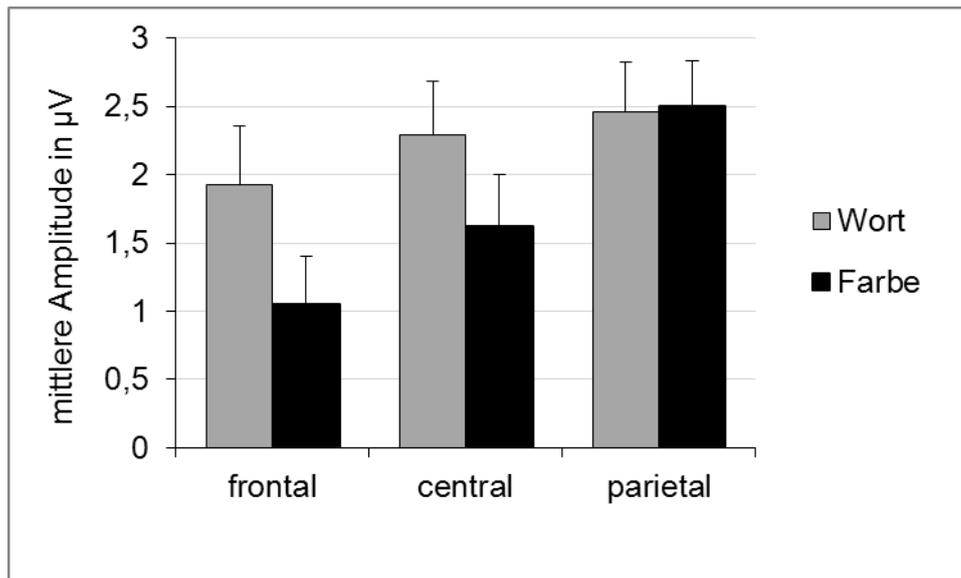


**Abbildung 16:** Mittlere Amplituden der CueP3 und Standardabweichungen in  $\mu\text{V}$  im gemischten Block für Jüngere und Ältere in den Dimensionen Wortbedeutung und Farbe.



**Abbildung 17:** Hinweisreizbezogene gemittelte Grand Averages der Jüngeren und Älteren für die Dimensionen Wortbedeutung (dünne Linien) und Farbe (dicke Linien) im **gemischten Block** abgeleitet an der Elektrode Fz. Der Nullpunkt auf der Abszisse indiziert den Zeitpunkt der Zielreizdarbietung, die gestrichelte Linie bei -1000 ms indiziert den Zeitpunkt der Darbietung des Hinweisreizes. Die CueP3 wurde im Bereich -750 bis -450 ms (250-550 ms nach Hinweisreizdarbietung) berechnet. Die vertikalen Linien, welche die Abszisse bei -750 und -450 ms schneiden, markieren den Berechnungszeitraum.

Eine weitere Interaktion ergab sich zwischen der relevanten Dimension und der Anteriorität  $F(2,140) = 7.87, p = .002$  (Abbildung 18). In der Bedingung Wortbedeutung gab es keinen Effekt der Anteriorität  $F(2,140) = 1.94, p = .160$ . In der Bedingung Farbe ergab sich hingegen ein statistisch bedeutsamer Effekt der Anteriorität  $F(2,140) = 17.58, p < .001$ . Alle Vergleich zwischen den Faktorstufen waren signifikant ( $p < .007$ ). Die Amplitude war an parietalen größer als an centralen Elektroden und an centralen größer als an frontalen Elektroden.



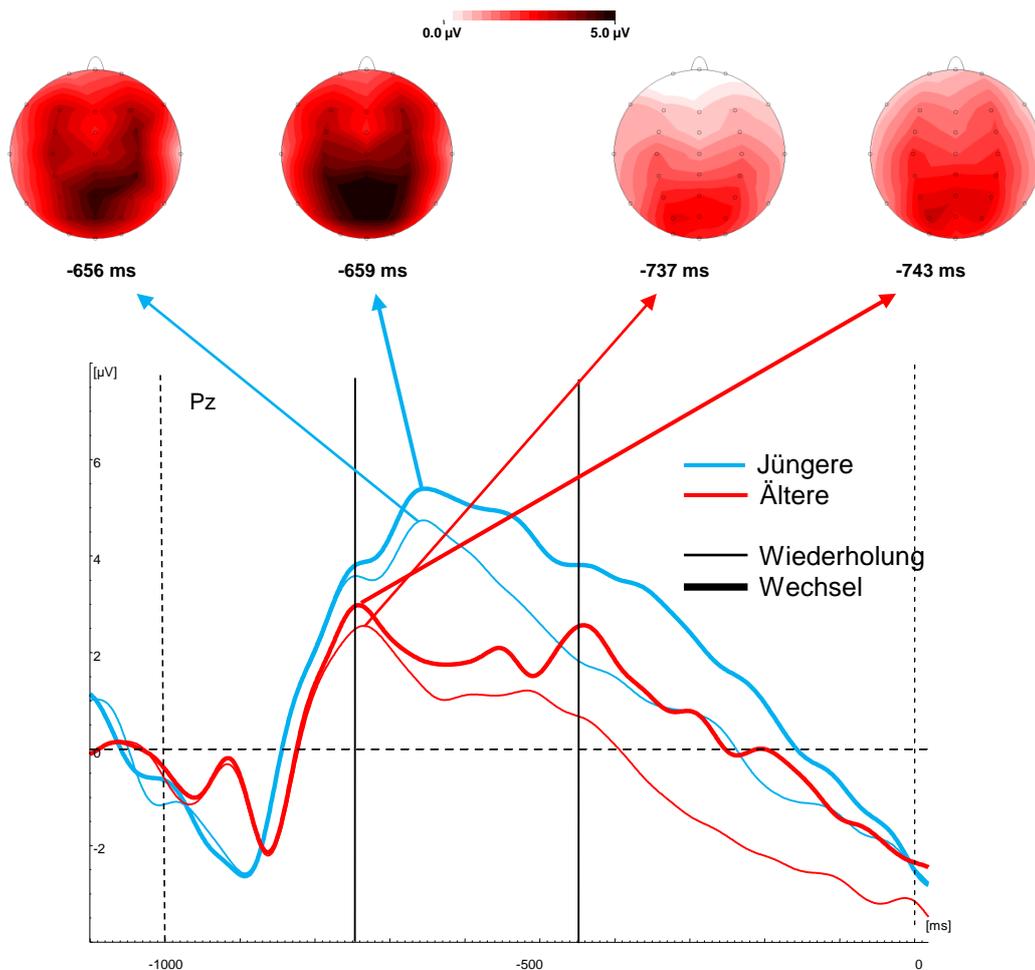
**Abbildung 18:** Mittlere Amplituden der CueP3 und Standardabweichungen in  $\mu\text{V}$  im gemischten Block für die Gesamtstichprobe in den Dimensionen Wortbedeutung und Farbe an frontalen (F3, Fz, F4), centralen (C3, Cz, C4) und parietalen (P3, Pz, P4) Elektroden.

### Aufgabenwechsel und Topografie

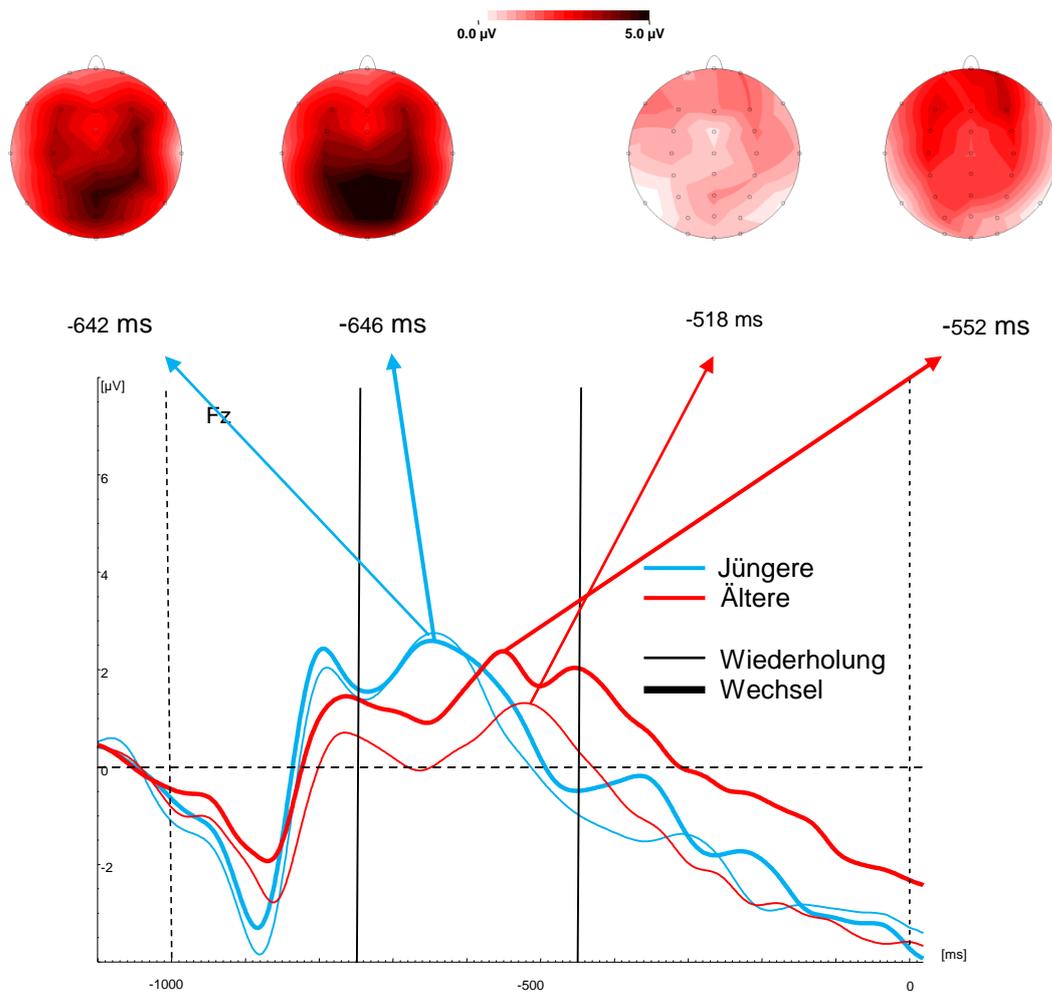
Es wurde eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Aufgabenabfolge, Lateralität und Anteriorität und dem Zwischensubjektfaktor Gruppe durchgeführt.

Es zeigte sich für die Gesamtstichprobe ein statistisch bedeutsamer Effekt der Aufgabenabfolge  $F(1,70) = 11.13$ ,  $p = .001$ . Bei einem Wechsel der Aufgabe war die Amplitude der CueP3 ausgeprägter ( $2,51 \mu\text{V}$ ) als bei einer Aufgabenwiederholung ( $1,64 \mu\text{V}$ ).

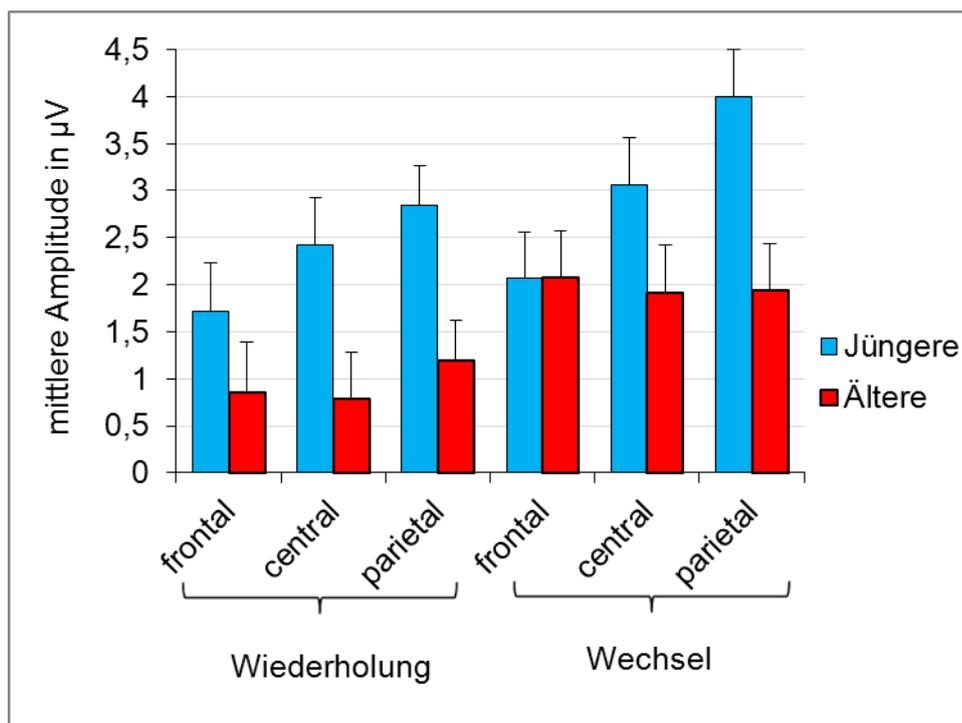
Außerdem zeigte sich eine 3-fache Interaktion zwischen der Aufgabenabfolge, der Anteriorität und der Gruppe  $F(2,140) = 5.79$ ,  $p = .006$ . Weitere Analysen zeigten, dass nur die Gruppe der Jüngeren eine Interaktion zwischen Aufgabenabfolge und Anteriorität aufwies  $F(2,70) = 4.35$ ,  $p = .018$ . Für Jüngere wurde der Unterschied zwischen Aufgabenwechsel und Aufgabenwiederholung nur an den parietalen Elektroden signifikant  $F(1,35) = 15,24$ ,  $p < .001$ . Ältere zeigten einen (tendenziell) signifikanten Effekt des Aufgabenwechsels an frontalen ( $p = .018$ ), centralen ( $p = .007$ ) und parietalen Elektroden ( $p = .060$ ). Die Abbildungen 19, 20 und 21 verdeutlichen den Effekt.



**Abbildung 19: CueP3**, Hinweisreizbezogene gemittelte Grand Averages der Jüngeren und Älteren für Aufgabenwiederholung (dünne Linien) und Aufgabenwechsel (dicke Linien) im **gemischten Block** abgeleitet an der Elektrode Pz. Der Nullpunkt auf der Abszisse indiziert den Zeitpunkt der Reizdarbietung, die gestrichelte Linie bei -1000 ms indiziert den Zeitpunkt der Darbietung des Hinweisreizes. Die CueP3 wurde im Bereich -750 bis -450 ms (250-550 ms nach Hinweisreizdarbietung) berechnet. Die vertikalen Linien, welche die Abszisse bei -750 und -450 ms schneiden, markieren den Berechnungszeitraum. Die mittleren Spannungs-Orts-Diagramme für Aufgabenwechsel und Aufgabenwiederholung sind zum Zeitpunkt der jeweiligen Amplitudenmaxima getrennt für Jüngere und Ältere abgebildet.



**Abbildung 20: CueP3**, Hinweisreizbezogene gemittelte Grand Averages der Jüngeren und Älteren für Aufgabenwiederholung (dünne Linien) und Aufgabenwechsel (dicke Linien) im **gemischten Block** abgeleitet an der Elektrode Fz. Der Nullpunkt auf der Abszisse indiziert den Zeitpunkt der Reizdarbietung, die gestrichelte Linie bei -1000 ms indiziert den Zeitpunkt der Darbietung des Hinweisreizes. Die CueP3 wurde im Bereich -750 bis -450 ms (250-550 ms nach Hinweisreizdarbietung) berechnet. Die vertikalen Linien, welche die Abszisse bei -750 und -450 ms schneiden, markieren den Berechnungszeitraum. Die mittleren Spannungs-Orts-Diagramme für Aufgabenwechsel und Aufgabenwiederholung sind zum Zeitpunkt der jeweiligen Amplitudenmaxima getrennt für Jüngere und Ältere abgebildet.



**Abbildung 21:** Mittlere Amplituden der CueP3 und Standardabweichungen im gemischten Block für Jüngere und Ältere in Aufgabenwiederholung und Aufgabenwechsel an frontalen (F3, Fz, F4), centralen (C3, Cz, C4) und parietalen (P3, Pz, P4) Elektroden.

### Mischkosten und Topographie

Es wurde eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Mischkosten, Lateralität und Anteriorität und dem Zwischensubjektfaktor Gruppe durchgeführt.

Es zeigte sich ein signifikanter Effekt der Mischkosten  $F(1,70) = 45.19, p < .001$ . In Aufgabenwiederholungen des gemischten Blocks war die CueP3 ausgeprägter ( $1,64 \mu\text{V}$ ) als in den einfachen Blöcken ( $-0,48 \mu\text{V}$ ).

Außerdem ergab sich eine Interaktion zwischen der Gruppe und den Mischkosten  $F(1,70) = 6.41, p = .014$ . Diese war darauf zurückzuführen, dass sich nur für die Aufgabenwiederholungen des gemischten Blocks ein signifikanter Effekt der Gruppe zeigte  $F(1,70) = 4.77, p = .032$ . Die Gruppe der Jüngeren zeigte hier eine höhere Amplitude als die Gruppe der Älteren ( $2,33 \mu\text{V}$  vs.  $0,95 \mu\text{V}$ ).

#### 3.2.2.2 Amplitude der N2

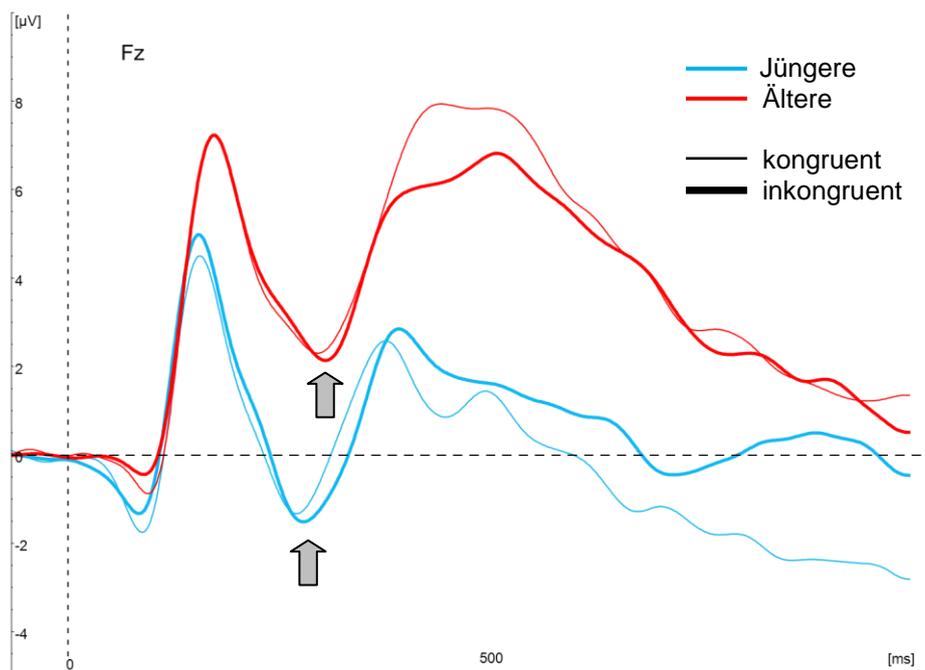
##### Zusammenfassung

Im einfachen Block zeigte sich ein Haupteffekt der Gruppe: Die Amplitude war bei den Jüngeren stärker ausgeprägt als bei den Älteren. Außerdem ergab sich eine

Interaktion zwischen relevanter Dimension und Kongruenz, nur in der Dimension Farbe war die Amplitude bei inkongruenten Reizen größer als bei kongruenten. Im gemischten Block zeigte sich kein Unterschied zwischen den beiden Gruppen. Der Haupteffekt der Kongruenz war nur tendenziell signifikant. Allerdings zeigte sich eine Interaktion zwischen Gruppe und Kongruenz. Nur für die Älteren ergab sich ein signifikanter Effekt der Kongruenz, ihre Amplitude war bei inkongruenten Reizen höher. Für die Jüngeren zeigte sich kein Effekt der Kongruenz auf die Amplitude.

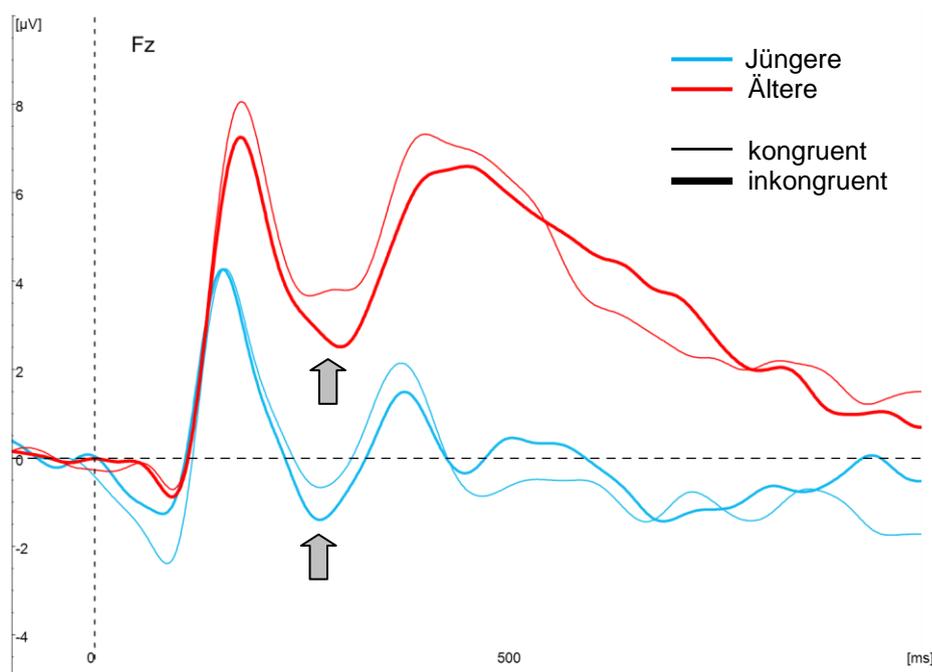
### Einfache Blöcke

Zunächst wurde eine Analyse für die einfachen Blöcke durchgeführt. Es wurde eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren relevante Dimension, Kongruenz und Elektrode (Fz und Cz) sowie dem Zwischensubjektfaktor Gruppe durchgeführt. Es ergab sich ein signifikanter Effekt der Gruppe  $F(1,70) = 11.79, p = .001$ . Die Gruppe der Jüngeren zeigte eine stärker ausgeprägte Amplitude der N2 (-2,9  $\mu\text{V}$ ) als die Gruppe der Älteren (-0,07  $\mu\text{V}$ ).



**Abbildung 22: N2**, Reizbezogene gemittelte Grand Averages der Jüngeren und Älteren für kongruente (dünne Linien) und inkongruente (dicke Linien) Reize im **einfachen Block Wortbedeutung** abgeleitet an der Elektrode Fz. Der Nullpunkt auf der Abszisse indiziert den Zeitpunkt der Reizdarbietung. Die Pfeile kennzeichnen die Peakamplitude der N2, welche als lokales Minimum im Bereich 200-400 ms nach Reizdarbietung berechnet wurde.

Es ergaben sich keine Haupteffekte der relevanten Dimension oder Kongruenz. Jedoch zeigte sich eine signifikante Interaktion zwischen relevanter Dimension und Kongruenz  $F(1,70) = 4.93, p = .030$ . Diese ergab sich daraus, dass sich für den Faktor Kongruenz nur in der relevanten Dimension Farbe ein signifikanter Effekt ergab  $F(1,70) = 5.19, p = .026$  (siehe Abbildungen 22 und 23). Hier war die Amplitude bei inkongruenten Reizen größer ( $-1,65 \mu\text{V}$ ) als bei kongruenten Reizen ( $-0,79 \mu\text{V}$ ). Für die Dimension Wortbedeutung ergab sich kein Effekt der Kongruenz.



**Abbildung 23: N2,** Reizbezogene gemittelte Grand Averages der Jüngeren und Älteren für kongruente (dünne Linien) und inkongruente (dicke Linien) Reize im **einfachen Block Farbe** abgeleitet an der Elektrode Fz. Der Nullpunkt auf der Abszisse indiziert den Zeitpunkt der Reizdarbietung. Die Pfeile kennzeichnen die Peakamplitude der N2, welche als lokales Minimum im Bereich 200-400 ms nach Reizdarbietung berechnet wurde.

### Gemischter Block

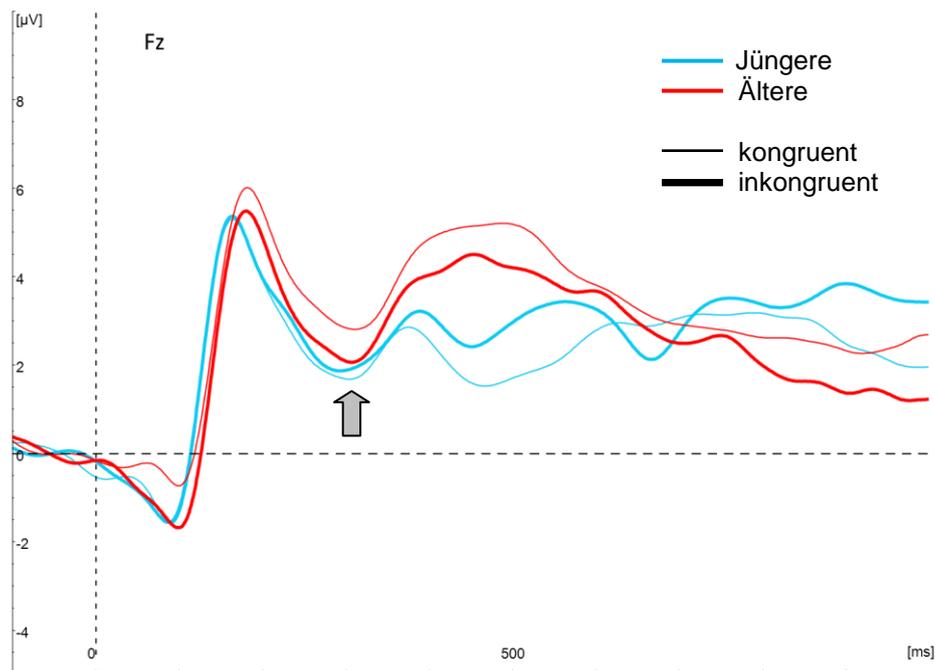
Aufgrund der hohen Anzahl an fehlerhaften Durchgängen im gemischten Block konnte keine Auswertung getrennt für die Dimensionen Farbe und Wortbedeutung durchgeführt werden. Es wurde also eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Kongruenz und Elektrode (Fz und Cz) sowie dem Zwischensubjektfaktor Gruppe durchgeführt.

Es ergab sich kein statistisch bedeutsamer Unterschied zwischen den beiden Gruppen  $F(1,70) = .55, p = .463$ .

Es ergab sich ein Haupteffekt der Elektrode  $F(1,70) = 7.62$ ,  $p = .007$ . An Cz war die Amplitude der N2 stärker ausgeprägt ( $-0,39 \mu\text{V}$ ) als an Fz ( $0,28 \mu\text{V}$ ).

Der Faktor Kongruenz war nur tendenziell signifikant  $F(1,70) = 3.54$ ,  $p = .064$ . Bei inkongruenten Reizen war die Amplitude ausgeprägter ( $-0,39 \mu\text{V}$ ) als bei kongruenten Reizen ( $0,28 \mu\text{V}$ ).

Es ergab sich jedoch eine statistisch bedeutsame Interaktion zwischen Gruppe und Kongruenz  $F(1,70) = 4.4$ ,  $p = .040$  (Abbildung 24). Weitere Analysen zeigten, dass sich nur für die Gruppe der Älteren ein signifikanter Unterschied zwischen kongruenten und inkongruenten Reizen in der Amplitude der N2 ergab  $F(1,35) = 5.9$ ,  $p = .020$ . Sie zeigten eine ausgeprägtere Amplitude bei inkongruenten Reizen ( $-0,5 \mu\text{V}$ ) im Vergleich zu kongruenten Reizen ( $0,93 \mu\text{V}$ ). Für die Gruppe der Jüngeren zeigte sich hingegen kein Unterschied  $F(1,35) = .035$ ,  $p = .852$ .



**Abbildung 24: N2**, Reizbezogene gemittelte Grand Averages der Jüngeren und Älteren für kongruente (dünne Linien) und inkongruente (dicke Linien) Reize im **gemischtem Block** abgeleitet an der Elektrode Fz. Der Nullpunkt auf der Abszisse indiziert den Zeitpunkt der Reizdarbietung. Die Pfeile kennzeichnen die Peakamplitude der N2, welche als lokales Minimum im Bereich 200-400 ms nach Reizdarbietung berechnet wurde.

### 3.2.2.3 Latenz der N2

#### Zusammenfassung

Im einfachen Block zeigte sich ein tendenzieller Effekt der Gruppe. Die Jüngeren hatten eine etwas kürzere Latenz als die Älteren. Eine 3-fache Interaktion zwischen Gruppe, relevanter Dimension und Kongruenz ergab sich daraus, dass nur die Gruppe der Jüngeren in der Dimension Wortbedeutung einen Unterschied zwischen kongruenten und inkongruenten Reizen zeigte. Ihre Latenz war bei inkongruenten Reizen etwas länger.

Im gemischten Block ergab sich ein tendenziell signifikanter Effekt der Gruppe, die Jüngeren zeigten eine kürzere Latenz.

#### Einfache Blöcke

Zunächst wurde eine Analyse für die einfachen Blöcke durchgeführt. Es wurde eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren relevante Dimension, Kongruenz und Elektrode (Fz und Cz) sowie dem Zwischensubjektfaktor Gruppe durchgeführt.

Es zeigte sich nur ein tendenzieller Effekt der relevanten Dimension  $F(1,70) = 3.11$ ,  $p = .082$ . Die Latenz war nur etwas länger, wenn die relevante Dimension die Wortbedeutung war (286 ms) im Vergleich zu Farbe (281 ms).

Der Faktor Kongruenz lieferte ebenfalls nur einen tendenziell signifikanten Effekt  $F(1,70) = 3.3$ ,  $p = .074$ . Waren die Reize inkongruent war die Latenz etwas länger (286 ms) als bei kongruenten Reizen (281 ms).

Der Gruppenunterschied war auch nur tendenziell statistisch bedeutsam  $F(1,70) = 3.67$ ,  $p = .059$ . Die Jüngeren zeigten eine etwas kürzere Latenz (277 ms) als die Älteren (290 ms).

Es zeigte sich eine 3-fache Interaktion von Gruppe, relevanter Dimension und Kongruenz. Diese Interaktion ließ sich folgendermaßen aufschlüsseln: Nur die Gruppe der Jüngeren zeigte in der relevanten Dimension Wortbedeutung einen signifikanten Unterschied in der Latenz zwischen kongruenten und inkongruenten Reizen  $F(1,35) = 7.71$ ,  $p = .009$ . Die Latenz auf inkongruente Reize war bei den Jüngeren höher (287 ms) als auf kongruente Reize (269 ms). In der relevanten Dimension Farbe zeigte sich kein Unterschied zwischen kongruenten (277 ms) und inkongruenten Reizen (272 ms). Für Ältere zeigte sich kein Unterschied zwischen kongruenten und inkongruenten Reizen  $F(1,35) = .020$ ,  $p = .889$ .

### **Gemischter Block**

Auch hier wurde aufgrund der hohen Anzahl an fehlerhaften Durchgängen der Faktor relevante Dimension nicht berücksichtigt und eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Kongruenz und Elektrode (Fz und Cz) und dem Zwischensubjektfaktor Gruppe durchgeführt.

Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen war nur tendenziell signifikant  $F(1,70) = 2.96, p = .090$ . Die Gruppe der Jüngeren zeigte eine etwas kürzere Latenz (287 ms) als die Gruppe der Älteren (303 ms).

Der Faktor Kongruenz hatte keine statistisch bedeutsamen Auswirkungen auf die Latenz der N2  $F(1,70) = .59, p = .445$ .

Es ergab sich eine signifikante Interaktion zwischen Elektrode und Gruppe  $F(1,70) = 7.5, p = .008$ . Separate Analysen zeigten, dass sich nur an der Elektrode Cz ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ergab  $F(1,70) = 6.13, p = .016$ . Die Gruppe der Älteren zeigte hier eine längere Latenz (308 ms) als die Gruppe der Jüngeren (283 ms). An der Elektrode Fz ergab sich kein Unterschied zwischen den beiden Gruppen  $F(1,70) = .57, p = .453$ .

#### **3.2.2.4 N<sub>i</sub>**

##### **Zusammenfassung**

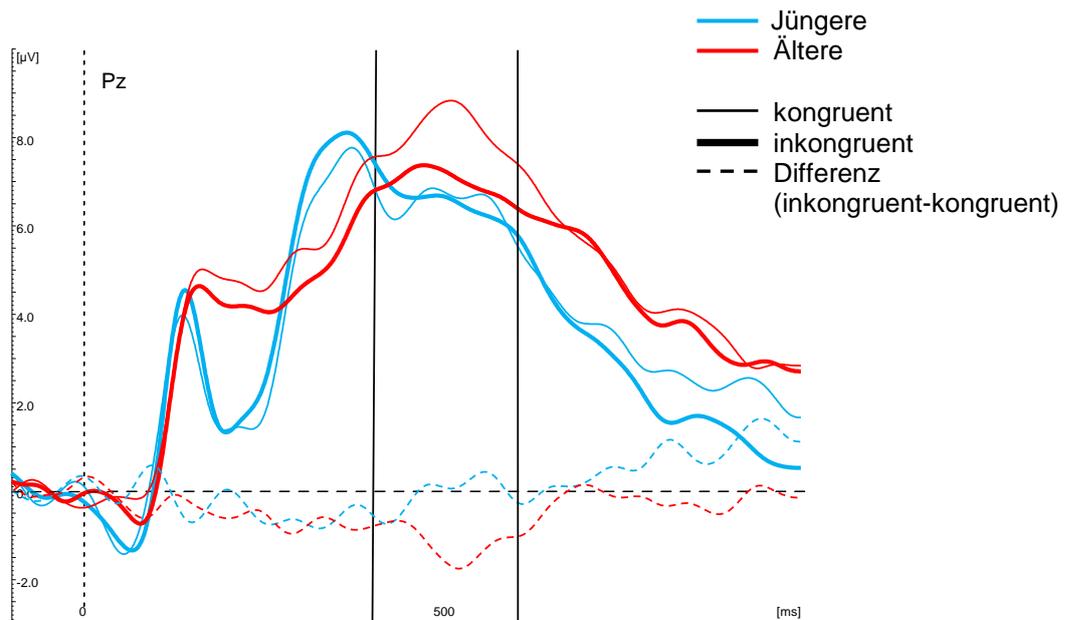
Im Bereich 400-600 ms nach Darbietung des Zielreizes zeigte die Gruppe der Älteren eine N<sub>i</sub> auf inkongruente Reize, die Gruppe der Jüngeren hingegen eine leicht positive Abweichung an parietalen Elektroden.

##### **Statistische Analyse**

Die Analyse wurde nur für die einfachen Blöcke durchgeführt. Zunächst wurde die Differenz aus inkongruenten und kongruenten Durchgängen gebildet (inkongruent – kongruent). Dann wurde eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren relevante Dimension, Lateralität und Anteriorität sowie dem Zwischensubjektfaktor Gruppe berechnet.

Es ergab sich ein Haupteffekt der Gruppe  $F(1,70) = 5.18, p = .026$  (Abbildung 25). Die Älteren zeigten in diesem Bereich eine Negativierung (-0,87 µV), die Jüngeren zeigten hingegen eine leichte Positivierung (0,24 µV).

Es zeigte sich ein Effekt der Anteriorität  $F(2,140) = 3.86, p = .027$ . Die Vergleiche der einzelnen Faktorstufen zeigten jedoch nur einen tendenziell signifikanten Unterschied zwischen frontalen und centralen Elektroden ( $p = .058$ ) sowie zwischen frontalen und parietalen Elektroden ( $p = .078$ ). Die mittlere Amplitude war an parietalen Elektroden am negativsten ( $-0,52 \mu\text{V}$ ), an centralen Elektroden betrug sie  $-0,44 \mu\text{V}$  und an frontalen Elektroden  $0,004 \mu\text{V}$ .



**Abbildung 25:** N<sub>1</sub>, Reizbezogene gemittelte Grand Averages der Jüngeren und Älteren für kongruente (dünne Linien) und inkongruente (dicke Linien) Reize sowie für die Differenzen (gestrichelte Linien, inkongruent–kongruent) im **einfachen Block Farbe** abgeleitet an der Elektrode Pz. Der Nullpunkt auf der Abszisse indiziert den Zeitpunkt der Reizdarbietung. Die N<sub>1</sub> wurde im Bereich 400-600 ms nach Reizdarbietung berechnet. Die vertikalen Linien, welche die Abszisse bei 400 und 600 ms schneiden, markieren den Berechnungszeitraum.

### 3.2.2.5 P3

#### Zusammenfassung

Insgesamt war die P3 über der rechten Hemisphäre stärker ausgeprägt. Es zeigte sich kein Haupteffekt der Gruppe. Jedoch fanden sich auch hier unterschiedliche Aktivierungsmuster für die beiden Gruppen. Die Jüngeren zeigten eine größere Amplitude an parietalen Elektroden, die Älteren zeigten eine gleichmäßigere Verteilung über den gesamten Skalp.

Die P3 war bei Aufgabenwechseln kleiner als bei Aufgabenwiederholungen – dies zeigte sich vor allem an der linken Hemisphäre und an den Elektroden der Mittellinie. Ältere zeigten bei Aufgabenwechseln vor allem an frontalen

Elektroden eine niedrigere Amplitude, Jüngere an centralen und parietalen Elektroden. Bei Jüngeren war die Amplitude der P3 bei Aufgabenwechseln an frontalen Elektroden größer als bei Aufgabenwiederholungen.

### **Aufgabenwechsel und Topografie**

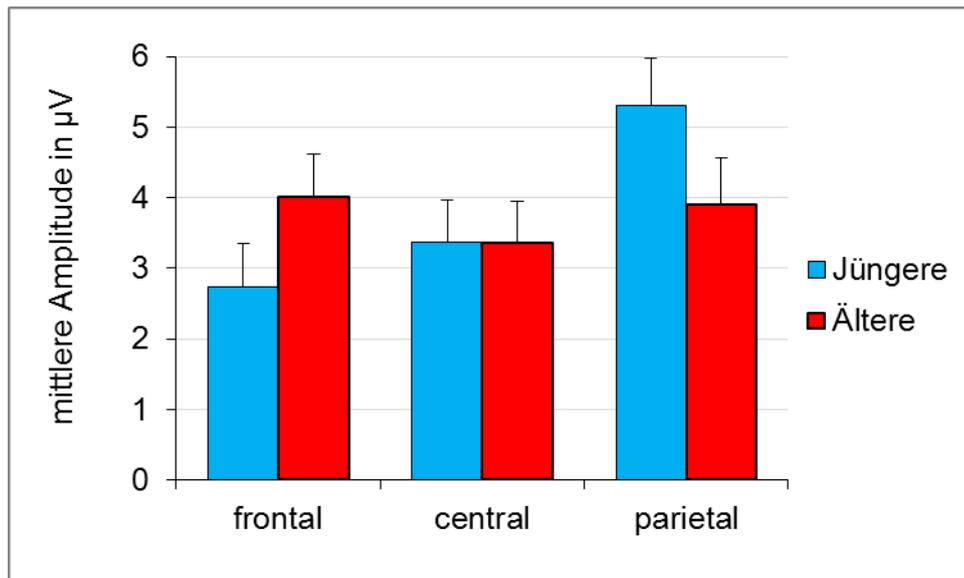
Die Analyse wurde nur für den gemischten Block durchgeführt. Es wurde eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Aufgabenabfolge, Lateralität und Anteriorität sowie dem Zwischensubjektfaktor Gruppe berechnet.

Es zeigte sich kein Unterschied zwischen den beiden Gruppen  $F(1,70) = .004$ ,  $p = .951$ . Die Aufgabenabfolge hatte einen statistisch bedeutsamen Einfluss auf die mittlere Amplitude der P3  $F(1,70) = 9.92$ ,  $p = .002$ . Bei einem Aufgabenwechsel war die Amplitude kleiner (3,23  $\mu\text{V}$ ) als bei einer Aufgabenwiederholung (4,32  $\mu\text{V}$ ).

Des Weiteren zeigte sich ein signifikanter Effekt der Lateralität  $F(2,140) = 19.49$ ,  $p < .001$ . Am stärksten ausgeprägt war die P3 an der rechten Hemisphäre (F4, C4, P4). Der Unterschied wurde signifikant im Vergleich zur Mitte und der rechten Hemisphäre ( $p < .001$ ).

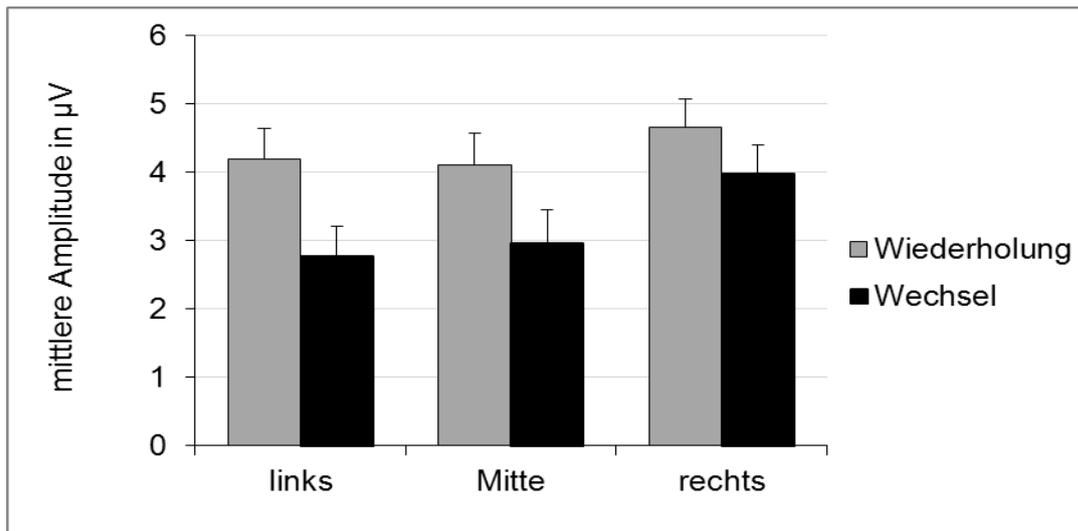
Die Anteriorität hatte ebenfalls einen statistisch bedeutsamen Effekt auf die mittlere Amplitude  $F(2,140) = 9.3$ ,  $p = .002$ . Am deutlichsten zeigte sich die P3 an parietalen Elektroden (P3, Pz, P4), der Vergleich zu den centralen Elektroden ( $p < .001$ ) und frontalen Elektroden ( $p = .020$ ) wurde signifikant.

Es ergab sich außerdem eine Interaktion zwischen der Anteriorität und der Gruppe  $F(2,140) = 8.21$ ,  $p = .003$  (Abbildung 26). Der Effekt der Anteriorität wurde nur für die Gruppe der Jüngeren signifikant  $F(2,70) = 14.84$ ,  $p < .001$ . Sie zeigten eine parietale Aktivierung, welche im Gegensatz zu centralen und frontalen Elektroden signifikant ausgeprägter war ( $p = .001$ ). Die Älteren zeigten eine breiter verteilte Aktivierung und somit keinen statistisch bedeutsamen Unterschied zwischen parietalen, centralen und frontalen Elektroden.



**Abbildung 26:** Mittlere Amplituden der P3 und Standardabweichungen im gemischten Block für Jüngere und Ältere an frontalen (F3, Fz, F4), centralen (C3, Cz, C4) und parietalen (P3, Pz, P4) Elektroden.

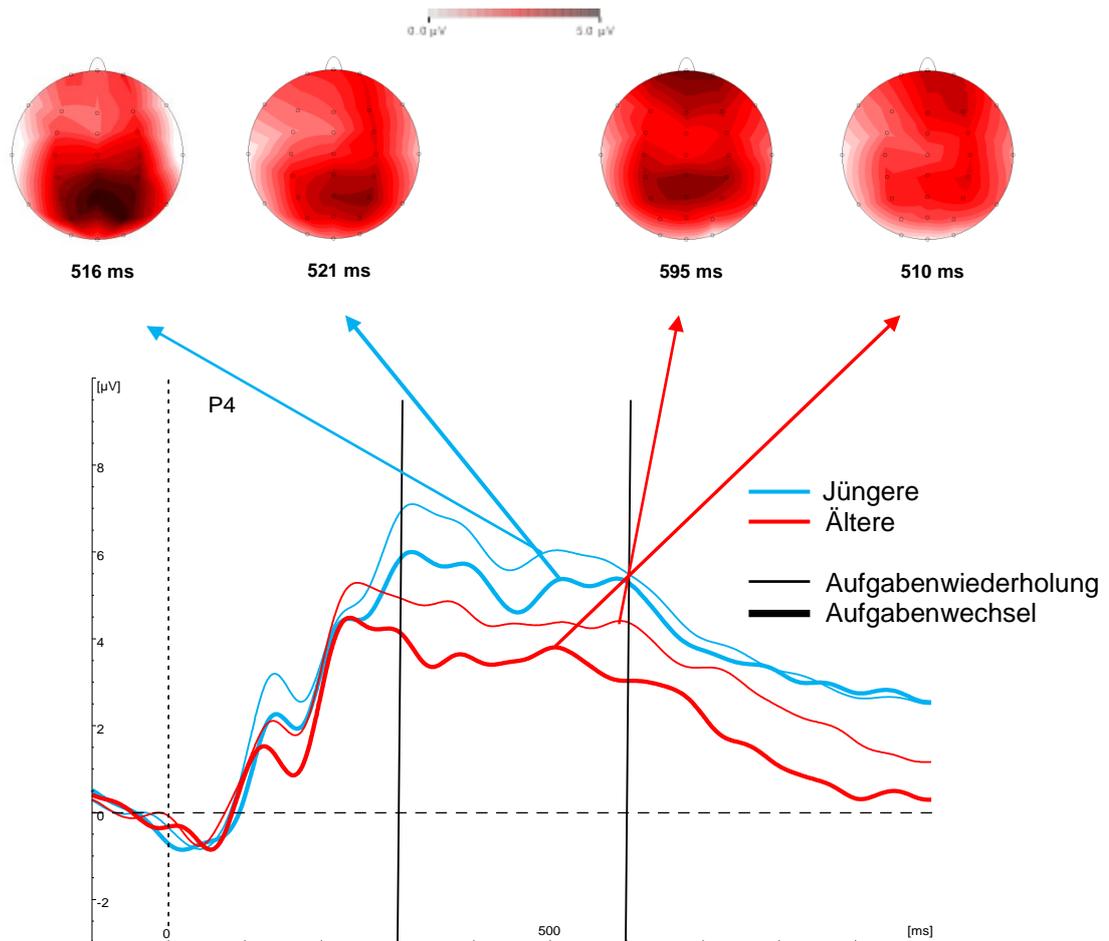
Eine weitere Interaktion ergab sich zwischen der Aufgabenabfolge und der Lateralität  $F(2,140) = 10.84$ ,  $p < .001$  (Abbildung 27). An linkshemisphärischen (F3, C3, P3) und centralen Elektroden (Fz, Cz, Pz) wurde der Effekt der Aufgabenabfolge signifikant ( $p < .001$  und  $p = .002$ ), an rechtshemisphärischen Elektroden (F4, C4, P4) wurde der Unterschied nur tendenziell signifikant ( $p = .051$ ). Die Aufgabenabfolge interagiert außerdem mit der Anteriorität  $F(2,140) = 4.45$ ,  $p = .021$ . nur an centralen und parietalen zeigte sich ein signifikanter Effekt der Aufgabenabfolge ( $p = .001$ ,  $p < .001$ ). An frontalen Elektroden ergab sich kein statistisch bedeutsamer Unterschied.



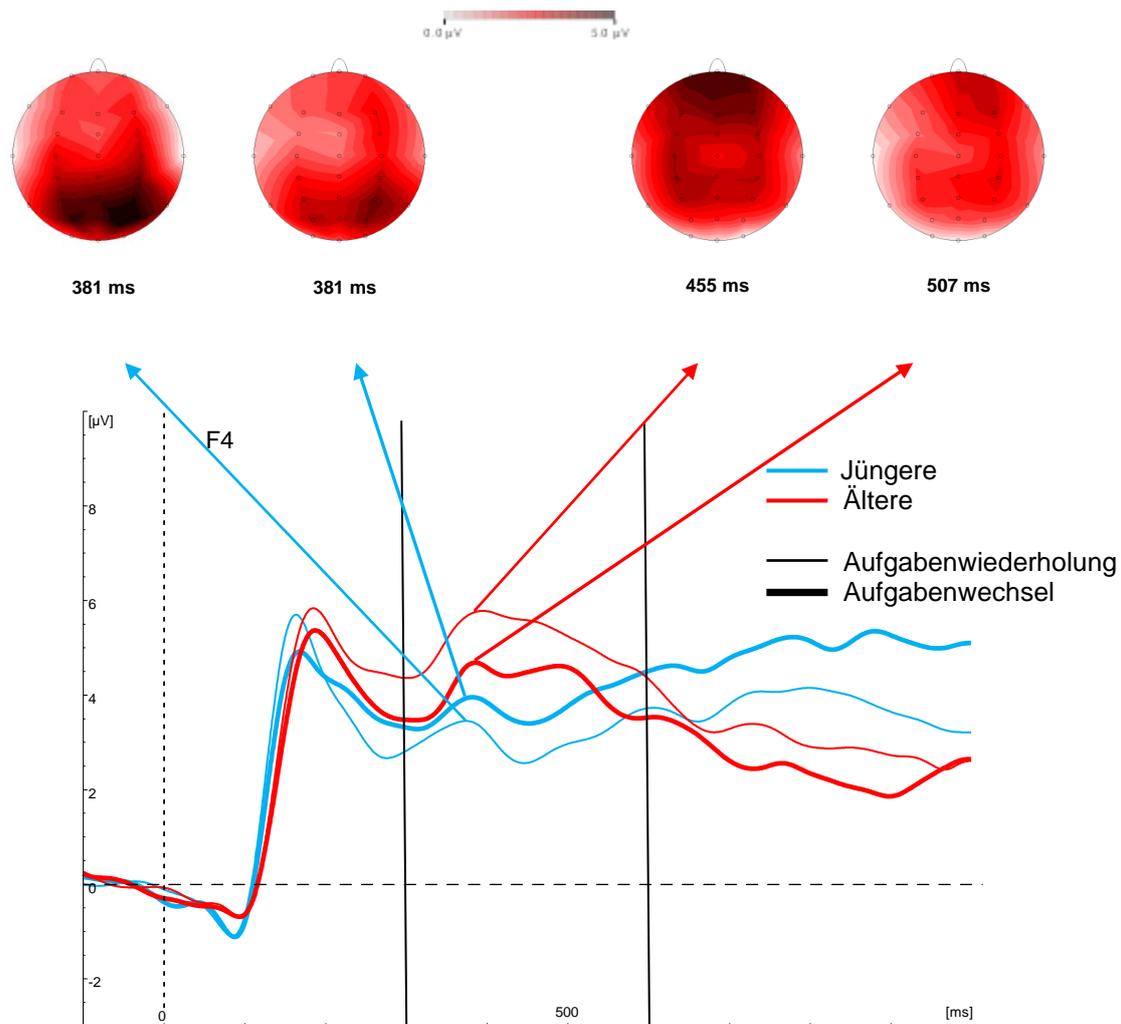
**Abbildung 27:** Mittlere Amplituden der P3 und Standardabweichungen für die Gesamtstichprobe an linker Hemisphäre (F3, C3, P3), Mitte (Fz, Cz, Pz) und rechter Hemisphäre (F4, C4, P4) in den Bedingungen Aufgabenwiederholung und Aufgabenwechsel.

Eine 3-fache Interaktion ergab sich zwischen der Aufgabenabfolge, der Anteriorität und der Gruppe  $F(2,140) = 7.76, p = .002$  (Abbildungen 28 und 29).

Diese war darauf zurückzuführen, dass sich nur an den frontalen Elektroden eine Interaktion zwischen Aufgabenabfolge und Gruppe zeigte  $F(1,70) = 4.79, p = .032$ . Die Gruppe der Älteren zeigte an frontalen Elektroden eine signifikant höhere Amplitude für Aufgabenwiederholungen (4,79 µV) im Vergleich zu Aufgabenwechseln (3,21 µV),  $F(1,35) = 6.93, p = .013$ , für die Gruppe der Jüngeren wurde der Unterschied hingegen nur tendenziell signifikant  $F(1,35) = 3.02, p = .091$ : Die Amplitude war bei Aufgabenwechseln etwas höher (2,85 µV) als bei Aufgabenwiederholungen (2,60 µV).



**Abbildung 28: P3**, Reizbezogene gemittelte Grand Averages der Jüngeren und Älteren für Aufgabenwiederholungen (dünne Linien) und Aufgabenwechsel (dicke Linien) im **gemischten Block** abgeleitet an der Elektrode P4. Der Nullpunkt auf der Abszisse indiziert den Zeitpunkt der Reizdarbietung. Die P3 wurde im Bereich 300-600 ms nach Reizdarbietung berechnet. Die vertikalen Linien, welche die Abszisse bei 300 und 600 ms schneiden, markieren den Berechnungszeitraum.



**Abbildung 29: P3**, Reizbezogene gemittelte Grand Averages der Jüngeren und Älteren für Aufgabenwiederholungen (dünne Linien) und Aufgabenwechsel (dicke Linien) im **gemischtem Block** abgeleitet an der Elektrode F4. Der Nullpunkt auf der Abszisse indiziert den Zeitpunkt der Reizdarbietung. Die P3 wurde im Bereich 300-600 ms nach Reizdarbietung berechnet. Die vertikalen Linien, welche die Abszisse bei 300 und 600 ms schneiden, markieren den Berechnungszeitraum.

## 3.3 Diskussion

### 3.3.1 Verhaltensdaten

In der vorliegenden Studie konnten die bisherigen Forschungsergebnisse für die Verhaltensdaten weitestgehend bestätigt werden. Die Interferenz war größer, wenn die relevante Dimension die Farbe war, dies zeigte sich in höheren Reaktionszeiten und Fehlerraten. Für den Aufgabenwechsel zeigte sich die höhere Interferenz nur in den Reaktionszeiten, die Fehlerrate war durch die Aufgabenabfolge nicht beeinflusst. Bei inkongruenten Reizen war die Interferenz ebenfalls größer, die Versuchspersonen zeigten höhere Reaktionszeiten und

Fehlerraten. Dieser Effekt verstärkte sich noch, wenn die relevante Dimension die Farbe war.

Die höhere Arbeitsgedächtnisbelastung zeigte sich durch Mischkosten in Form von höheren Reaktionszeiten und Fehlerraten.

In bisherigen altersvergleichenden Studien konnte festgestellt werden, dass Ältere insgesamt langsamer reagieren als Jüngere (West & Alain, 2000; Kray, Eppinger & Mecklinger, 2005; Eppinger et al., 2007). Für sie ist der Effekt der Interferenz durch dominante Handlungsziele und damit verknüpfte Antworten größer, besonders bei inkongruenten Reizen (West & Alain, 2000; Mayr, 2001; Rubin & Meiran, 2005). Zudem zeigen sie höhere Beeinträchtigungen (Mischkosten) durch die gesteigerte Belastung des Arbeitsgedächtnisses (Mayr, 2001; Rubin & Meiran, 2005). In Bezug auf den Wechsel der Aufgabe sind die Ergebnisse unklar. Einige Studie fanden keine Unterschiede zwischen Jüngeren und Älteren in den Wechselkosten (Salthouse et al., 1998; Kray & Lindenberger, 2000; Mayr & Liebscher, 2001; Gajewski et al., 2010a), einige Studien fanden höhere Wechselkosten für Ältere (Meiran et al., 2001; Kray, Li & Lindenberger, 2002). In einer Studie zeigten die Älteren sogar geringere Wechselkosten als die Jüngeren (Kray et al., 2006).

Der Vergleich der beiden Altersgruppen lieferte in dieser Studie folgende Ergebnisse: Ältere reagierten insgesamt langsamer und machten mehr Fehler als Jüngere. Sie zeigten im Vergleich zur Jüngeren eine hohe Interferenz, wenn die relevante Dimension die Farbe war. Dies zeigte sich jedoch nur in höheren Reaktionszeiten, nicht in der Fehlerrate. Ältere zeigten im Vergleich zu Jüngeren außerdem eine höhere Interferenz, wenn die Aufgabe wechselte - allerdings ebenfalls nur in der Reaktionszeit. Die Interferenz ausgelöst durch den Stimulus bei inkongruenten Reizen war bei Älteren im Vergleich zu Jüngeren höher, was sich hingegen nur in der Fehlerrate zeigte.

Ältere zeigten im Vergleich zu den Jüngeren größere Mischkosten in Form von höheren Reaktionszeiten und Fehlerraten.

### **3.3.2 EKP**

Für die Interpretation der EKP-Daten soll folgendes Rahmenmodell zur Vereinfachung herangezogen werden (Lustig et al., 2009): Es wird angenommen,

dass höhere Amplituden darauf hindeuten, dass die verknüpften Prozesse stärker genutzt werden. Eine schwächere Amplitude deutet darauf hin, dass die verknüpften Prozesse weniger stark genutzt werden (oder aber effizienter).

### 3.3.2.1 CueP3

Das EEG und die daraus extrahierten EKP sollten Aufschluss über die kognitiven Prozesse während der Aufgabenbearbeitung liefern. Zunächst wurde die CueP3 im Intervall zwischen Hinweisreiz und Zielreiz betrachtet. Sie wird allgemein mit Prozessen der Vorbereitung auf eine Aufgabe in Verbindung gebracht, häufig werden in diesem Zusammenhang der Abruf der relevanten Aufgabenregeln und die Task-Set-Rekonfiguration genannt (für eine Übersicht siehe Karayanidis et al., 2010). Sie wird auch häufig als ein Korrelat der Mischkosten interpretiert (Karayanidis et al., 2011a). Bisherige Studien konnten zeigen, dass die Amplitude der CueP3 bei einem Aufgabenwechsel höher ist und somit möglicherweise zusätzlich eine erhöhte Vorbereitung auf die Aufgabe bzw. Interferenzbewältigung reflektiert (Kieffaber & Hetrick, 2005; Moulden et al., 1998; West, Langley & Bailey, 2011; Hsieh & Wu, 2011). Die verschiedenen Teilprozesse überlappen sich also möglicherweise. Die Befundlage für die kombinierte Stroop-Switch-Aufgabe ist hingegen unklar. In der Studie von Eppinger et al. (2007) wurde kein Unterschied in der Cue-P3 zwischen Aufgabenwiederholung und Aufgabenwechsel gefunden. Die Auswirkungen in Bezug auf die Dominanz bzw. Nicht-Dominanz einer Stimulusdimension auf die CueP3 sind ebenfalls unvollständig.

Altersvergleichende Studien fanden häufig Alterseffekte in der Latenz der CueP3 (Kray et al., 2005; West & Travers, 2008; Karayanidis et al., 2011b), welche in der vorliegenden Studie nicht erhoben wurde, da oftmals eine mehrgipfelige CueP3 vorlag und die Peakamplitude nicht klar bestimmt werden konnte. Stattdessen wurde die mittlere Amplitude im Bereich 250-550 ms nach Erscheinen des Hinweisreizes berechnet. Für Ältere wurde in früheren Studien zudem eine breitere Verteilung der CueP3 (fronto-parietal) gefunden (Kray et al., 2005; West & Travers, 2008). In Durchgängen mit Aufgabenwechseln wurde in einigen Studien eine kleinere CueP3 von Älteren im Vergleich zu Jüngeren gefunden (West & Moore, 2005; Karayanidis et al., 2011b).

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigten keine CueP3 in den einfachen Blöcken, die Mischkosten zeigten sich also in Form einer CueP3 nur im gemischten Block (bei Aufgabenwiederholungen), daher kann die CueP3 auch als Korrelat der erhöhten Arbeitsgedächtnisbelastung betrachtet werden. Die Amplitude der CueP3 bei Aufgabenwiederholungen war bei Älteren kleiner als bei Jüngeren, was als Korrelat für eine begrenzte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses betrachtet werden kann – Ältere können weniger Ressourcen für die Aufrechterhaltung der Aufgabenregeln bereitstellen. Ältere zeigten auch auf Verhaltensebene im Vergleich zu den Jüngeren höhere Mischkosten in Form von höheren Reaktionszeiten und Fehlerraten, was diese Annahme unterstützt.

Die weiteren Analysen wurden nur für den gemischten Block durchgeführt. Hier zeigte sich wie ein Effekt der Aufgabenabfolge, bei einem Wechsel der Aufgabe war die mittlere Amplitude der CueP3 größer, was eine erhöhte Vorbereitung reflektiert. Der Aufgabenwechsel hat also auch im kombinierten Stroop-Switch-Paradigma einen Einfluss auf die CueP3. Jüngere zeigten wie erwartet eine eher parietale CueP3, Ältere eine breiter verteilte CueP3. Dabei zeigte sich auch der Effekt des Aufgabenwechsels für Ältere eher an frontalen und centralen Elektroden, bei Jüngeren nur an parietalen Elektroden. Ältere scheinen also für die Vorbereitung auf die Aufgabe zusätzliche Ressourcen zu rekrutieren (siehe auch Polich, 1997), was für die Kompensationshypothese spricht (Reuter-Lorenz & Cappell, 2008).

Nur für Jüngere zeigte sich ein Effekt der relevanten Dimension: Sie hatten eine kleinere CueP3, wenn die relevante Dimension die Farbe war bzw. größere CueP3, wenn die relevante Dimension die Wortbedeutung war. Die endogene Komponente der Interferenzverarbeitung scheint bei Jüngeren also sensitiv für die relevante Dimension zu sein. Sie zeigen eine eingeschränkte Vorbereitung im Sinne des Abrufs des relevanten Task-Sets, wenn die Interferenz durch die relevante Dimension größer ist oder aber einen verbesserten Abruf des relevanten Task-Sets, wenn die Interferenz kleiner ist. In anderen Worten: Jüngere bereiten sich stärker vor, wenn die Aufgabenregel dominant ist.

Zusammengenommen sprechen die Ergebnisse dafür, dass bei einem Aufgabenwechsel (also proaktive Interferenz durch das zuvor angewendete Task-Set) andere (endogene) Mechanismen der Interferenzbewältigung zum

Tragen kommen als bei der Vorbereitung auf die nicht dominante Stimulus-Dimension – zumindest vor Erscheinen des Zielreizes. Jüngere und Ältere unterscheiden sich dabei in der Vorbereitung auf die Aufgabe.

### 3.3.2.2 N2

Nach Erscheinen des Zielreizes wurden die Amplitude und die Latenz der N2 auf Effekte der Interferenz in Bezug auf die Kongruenz und die relevante Dimension untersucht. Die N2 wird häufig mit der Wahrnehmung oder Verarbeitung von Interferenz in Zusammenhang gebracht. In vielen Studien wurde eine größere frontozentrale N2 bei Aufgabenwechseln festgestellt (Lorist et al., 2000; Rushworth, Passingham & Nobre, 2002; Karayanidis et al., 2003; Nicholson et al., 2005; Gajewski, Kleinsorge & Falkenstein, 2010b). Die Befunde in Bezug auf die relevante Dimension sind jedoch uneindeutig (West, 2005; Liotti et al., 2000; West & Alain, 2000), dabei geht es auch um die Abgrenzung zur N<sub>i</sub> (West & Alain, 1999). Für Ältere wurden in einigen Studien (nicht mit der Stroop-Switch-Aufgabe) eine kleinere Amplitude der N2 gefunden als für Jüngere (Anderer, Semlitsch & Saletu, 1996 – allerdings für auditorische Reize; Beck, Swanson & Dustman, 1980) sowie eine längere Latenz (Anderer, Semlitsch & Saletu, 1996), in anderen Studien ergab sich kein Unterschied (z.B. Polich, 1997).

In der vorliegenden Studie zeigte sich in den einfachen Blöcken ein signifikanter Unterschied in der Amplitude der N2 zwischen Jüngeren und Älteren, der Latenzunterschied (höhere Latenz für Ältere) war nur tendenziell signifikant. Dies könnte ein Hinweis auf eine veränderte (oder verlängerte) Reizwahrnehmung/-verarbeitung bei Älteren sein.

Außerdem zeigte sich ein Effekt der Kongruenz nur für die relevante Dimension Farbe. Die Amplitude für inkongruente Reize war hier höher. Dieses Ergebnis lässt sich gut im Hinblick auf die theoretischen Konstrukte interpretieren: Der Faktor Kongruenz hat nur einen Einfluss auf die Amplitude der N2 in der relevanten Dimension Farbe. Bei inkongruenten Reizen ist die Amplitude höher. Hier muss die Interferenz durch die nicht relevante aber dominante und deswegen durch den Reiz aktivierte Stimulusdimension überwunden werden. In der Dimension Wortbedeutung wird die nicht dominante Stimulusdimension weniger stark (oder gar nicht) durch den Zielreiz aktiviert und interferiert

deswegen nicht. In einfachen Worten: Die erhöhte N2 spiegelt den Konflikt wider (Stroop-Effekt), der entsteht, wenn die Farbe bestimmt werden soll und die Wortbedeutung nicht übereinstimmt.

Jüngere zeigten bei inkongruenten Reizen eine längere Latenz - allerdings nur, wenn die relevante Dimension die Wortbedeutung war. Dieses Ergebnis lässt sich im Rahmen der hier vorgestellten theoretischen Konstrukte schlecht erklären. Möglicherweise haben Jüngere einen Vorteil bei der Verarbeitung des Reizes, wenn die Stimulusdimensionen übereinstimmen (kongruent), was aber nur in der dominanten Dimension Wortbedeutung zum Tragen kommt.

Im gemischten Block konnte die Analyse leider nicht getrennt für die Dimensionen Farbe und Wortbedeutung durchgeführt werden. Insgesamt zeigte sich kein Altersunterschied in der Amplitude, der Effekt der Latenz war nur tendenziell statistisch bedeutsam (höhere Latenz für Ältere). Nur Ältere zeigten im gemischten Block eine höhere Amplitude bei inkongruenten Reizen. Diese Ergebnisse lassen sich schwer interpretieren. Die Analyse der einfachen Blöcke konnte die wichtige Rolle der relevanten Dimension belegen. Es ist möglich, dass die Effekte der Kongruenz auch im gemischten Block nur für die relevante Dimension Farbe auftreten. Die Analyse ohne Berücksichtigung der Dimension könnte die Ergebnisse somit verzerrt haben. Hier sind weitere Studien notwendig, welche die relevante Dimension berücksichtigen, um vollständige und aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten.

### **3.3.2.3 N<sub>i</sub>**

Weitere Effekte der Kongruenz und der relevanten Dimension wurden anhand des Differenzpotenzials (inkongruent – kongruent) N<sub>i</sub> untersucht.

Die N<sub>i</sub> wurde im Bereich 400-600 ms nach Reizdarbietung berechnet. Bisherige Studien lieferten sehr inkonsistente Ergebnisse in Bezug auf die negative Komponente. Bei manueller Antwort ist sie mehr parietal verteilt (Liotti et al., 2000) und ist für die nicht dominante Dimension Farbe stärker ausgeprägt (West, 2003; Kray, 2005). Es ist unklar, ob sie ein Korrelat der N2 darstellt (West & Alain, 1999). Sie wird ebenso wie die N2 mit Prozessen der Konfliktwahrnehmung oder –verarbeitung in Verbindung gebracht und der ACC gilt als Ursprung der Komponente (Coderre et al., 2011). In einiger Studie wurde

eine schwächere  $N_i$  bei Älteren festgestellt (West & Alain, 2000; in anderen Studie gab es keinen Unterschied zwischen Jüngeren und Älteren (Kray, 2005; Mager et al., 2007), in wieder einer anderen Studie zeigten die Älteren eine höhere Amplitude (West, 2004).

In der vorliegenden Studie wurde die  $N_i$  nur für die einfachen Blöcke berechnet, um Überlagerungen durch andere Prozesse zu minimieren. Die  $N_i$  zeigte sich als Negativierung an centralen und parietalen Elektroden (Liotti et al., 2000; West & Alain, 2000) - allerdings nur bei den Älteren. Die relevante Dimension hatte keinen signifikanten Effekt auf die  $N_i$ . Dieses Ergebnis lässt sich am besten mit dem Ergebnis von West (2004) in Einklang bringen, welcher eine stärker ausgeprägte parietale  $N_i$  bei Älteren fand. Er interpretierte dies dahingehend, dass Ältere in der Konfliktwahrnehmung beeinträchtigt sind. Folgt man dem Modell von Lustig et al. (2009) spricht eine größere Negativierung für eine stärkere Nutzung des verknüpften Prozesses (Konfliktwahrnehmung/-verarbeitung). Ältere müssen demnach mehr Ressourcen aufwenden, um den Konflikt durch inkongruente Reize zu bewältigen.

Allerdings lässt sich das Ergebnis auch so betrachten, dass die  $N_i$  in der vorliegenden Studie aus einer abgeschwächten P3 Amplitude für inkongruente Reize bei Älteren resultiert, die Differenzbildung im Bereich 400-600 ms überschneidet sich zeitlich mit der mittleren Amplitude der P3 (300-600 ms) und die hier gefundenen Effekte der  $N_i$  sind ebenso wie die P3 parietal lokalisiert. Die P3 ist auch bei Aufgabenwechseln kleiner, was dafür spricht, dass der Prozess durch proaktive Interferenz beeinträchtigt wird. Ältere zeigten in dieser Studie zudem eine kleinere P3 (also eine  $N_i$ ), wenn die Stimulus-Dimensionen inkongruent waren und die Task-Sets sich überlappten. Folgt man der Inhibitions-Hypothese von Polich (2007), lässt sich das hier gefundene Ergebnis wie folgt in das Rahmenmodell einordnen: Die P3 ist kleiner in schwierigen Aufgabensituationen, da weniger Ressourcen für die Inhibition von ablaufender Aktivität zur Verfügung stehen. Ältere zeigten eine kleinere Amplitude der P3 in der inkongruenten Bedingung - sie scheinen bei der Verarbeitung des inkongruenten Reizes nicht ausreichend Ressourcen zur Inhibition zur Verfügung stellen zu können – möglicherweise, da die Ressourcen zur Interferenzverarbeitung benötigt werden.

### 3.3.2.4 P3

Zuletzt wurde die mittlere Amplitude der P3 des gemischten Blocks auf Effekte der Aufgabenabfolge untersucht. Sie wird mit Prozessen der Stimulus-Verarbeitung (Lorist et al., 2000) sowie der Inhibition nicht relevanter Aktivität (Polich, 2007) in Verbindung gebracht. Bisher gibt es keine Befunde für die P3 in der kombinierten Stroop-Switch-Aufgabe. Im Aufgabenwechsel-Paradigma ist die P3 bei einem Aufgabenwechsel kleiner als bei einer Aufgabenwiederholung (Lorist et al., 2000; Rushworth et al., 2002; Karayanidis et al., 2003; Kieffaber & Hetrick, 2005; Nicholson et al., 2005; Goffaux et al., 2006; Gajewski et al., 2010b; Gajewski & Falkenstein, 2011; Hsieh & Wu, 2011). Ältere haben insgesamt eine kleinere Amplitude der P3 als Jüngere, welche jedoch eine breitere Verteilung über den Skalp zeigt (Mager et al., 2007; Karayanidis et al., 2011).

In der vorliegenden Studie zeigte sich die P3 am stärksten an der rechten Hemisphäre. Sie war für Aufgabenwechsel schwächer ausgeprägt als für Aufgabenwiederholungen, was dafür spricht, dass der Prozess durch proaktive Interferenz (zuvor aktiviertes Task-Set stört die Aktivierung des aktuellen Task-Sets) beeinflusst wird – bei Älteren und bei Jüngeren.

Auch für das Stroop-Switch-Paradigma zeigte sich eine breitere Verteilung der P3 für die Gruppe der Älteren und eine mehr parietale Verteilung für die Gruppe der Jüngeren. Im Rahmen der Inhibitions-Hypothese von Polich (2007) könnte dieses Ergebnis dahingehend interpretiert werden, dass Ältere mehr Ressourcen bereitstellen, um die Stimulus-Verarbeitung zu inhibieren (frontale P3a) jedoch die Inhibition neuronaler Aktivität zugunsten des Transfers der Stimulus-Informationen in parietale Areale (P3b) bei ihnen im Vergleich zu Jüngeren schwächer ausfällt.

Insgesamt zeigten Ältere eine größere frontale P3. Im Falle eines Aufgabenwechsels war ihre frontale P3 kleiner, bei Jüngeren war sie hingegen an frontalen Elektroden bei einem Aufgabenwechsel größer als bei einer Aufgabenwiederholung. Dies würde dafür sprechen, dass Ältere im Falle eines Aufgabenwechsels weniger Ressourcen für die Stimulus-Inhibition zur Verfügung stellen (können). Eine weitere Erklärung könnte eine überlagernde frontozentrale Negativierung – ähnlich wie die  $N_i$  – sein, welche Ältere zeigen, wenn größere Interferenz besteht. Möglicherweise rekrutieren Ältere bei der

Interferenzbewältigung zusätzliche (frontale bzw. parietale) Areale in Abhängigkeit von der Art der Interferenz.

### **3.3.3 Integration der Ergebnisse und Beantwortung der Forschungsfragen**

Dieser erste Teil der Arbeit sollte mithilfe des kombinierten Stroop-Switch-Paradigmas untersuchen, welche Prozesse der Informationsverarbeitung – im Speziellen der Konfliktverarbeitung - bei Älteren verändert oder beeinträchtigt sind und wie sich diese Veränderungen auf Ebene der Verhaltensdaten zeigen. Zunächst sollten die in bisherigen Studien Ergebnisse repliziert werden, welche das gleiche Paradigma verwendeten.

Bezogen auf die Verhaltensdaten, konnten die bisher gefundenen Ergebnisse bestätigt werden, welche sich nicht auf Ältere beziehen. Einzig die höhere Fehlerrate bei Aufgabenwechseln im Vergleich zu Aufgabenwiederholungen konnte in der vorliegenden Studie nicht gefunden werden sondern lediglich eine höhere Reaktionszeit.

Der Vergleich zwischen Jüngeren und Älteren konnte die bisherigen Befunde ebenfalls weitestgehend bestätigen. Jedoch zeigten sie lediglich höhere Reaktionszeiten als die Jüngeren, wenn sie die Farbe benennen sollten – keine höhere Fehlerrate. Gleiches zeigte sich für Aufgabenwechsel. Auch hier zeigten sie im Vergleich zu Jüngeren nur eine höhere Reaktionszeit. Hingegen zeigte sich bei inkongruenten Reizen nur eine höhere Fehlerrate als bei Jüngeren unabhängig von der relevanten Dimension.

Die bisherigen Befunde für die CueP3 im kombinierten Stroop-Switch-Paradigma konnten durch die vorliegende Studie gestützt und erweitert werden – auch in Bezug auf die Altersunterschiede.

In der vorliegenden Studie wurde im einfachen Block keine CueP3 gefunden, wie bei West (2004). Anders als in Studien, welche eine CueP3 zumindest im einfachen Block Farbe fanden (Kray et al., 2005; Goffaux et al., 2006; Jost, Mayr & Rösler, 2008).

Die CueP3 von Älteren war bei Aufgabenwiederholungen des gemischten Blocks kleiner als die von Jüngeren, was sich mit den höheren Mischkosten bei Älteren auf Verhaltensebene (Reaktionszeit und Fehlerrate) deckt.

Die CueP3 von Jüngeren war durch die relevante Dimension beeinflusst. War die relevante Dimension die Wortbedeutung, war die Amplitude höher. Möglicherweise profitieren Jüngere im Sinne einer gesteigerten Vorbereitung von der dominanten Dimension. In den Verhaltensdaten zeigte sich jedoch ein größerer Unterschied zwischen beiden Gruppen – also ein größerer Vorteil der Gruppe der Jüngeren - für die Dimension Farbe. Die größere CueP3 der Jüngeren für die relevante Dimension Wortbedeutung ist am besten durch den „Deckeneffekt“ zu erklären: Die gesteigerte Vorbereitung der Jüngeren führt im vorliegenden Paradigma nicht mehr zu einer Verbesserung, da die Obergrenze der Leistungsfähigkeit in den Verhaltensdaten bereits erreicht wurde.

In der Vorliegenden Studie sollte der Zusammenhang zwischen N2 und N<sub>i</sub> geklärt werden – auch in Bezug auf die Topografie und die zeitliche Abfolge. Es sollte geklärt werden, ob Ältere und Jüngere sich in der Verarbeitung inkongruenter Reize unterscheiden.

Für die N2 ergab sich eine höhere Amplitude für inkongruente Reize der Dimension Farbe. Bei Differenzbildung würde sich dies als Negativierung über dem frontocentralen Skalp zeigen, was die Befunde für die N<sub>i</sub> in einigen bisherigen Studien erklärt (West, 2003, Kray, 2005), welche dann als Korrelat der N2 zu bewerten wäre. Die N2 hat ihren Ursprung – wie auch die N<sub>i</sub> – im ACC (Folstein & van Petten, 2008; Coderre et al., 2011).

Insgesamt war die Amplitude der N2 für Ältere kleiner und (tendenziell) die Latenz länger. Dies kann mit den Verhaltensdaten in Einklang gebracht werden: Ältere zeigten insgesamt mehr Fehler und eine höhere Reaktionszeit. Ältere scheinen insgesamt in der kognitiven Kontrolle beeinträchtigt zu sein – besonders bei Konflikt durch überlappende Reiz-Reaktions-Verknüpfungen. Anders als in der Vorbereitung auf die Aufgabe (CueP3) ist nicht erkennbar, dass sie zusätzliche Ressourcen rekrutieren, um die Verschlechterung zu kompensieren. Sie zeigen hier eine höhere Reaktionszeit *und* Fehlerrate – anders als bei Aufgabenwechsel und in der relevanten Dimension Farbe. Dort zeigt sich die Verschlechterung der Älteren im Vergleich zu Jüngeren nur in der Reaktionszeit.

Bei kongruenten Reizen der relevanten Dimension Wortbedeutung war die Latenz der N2 für Jüngere kürzer. Dies lässt sich als gesteigerte bzw. schnellere Verarbeitung bei kongruenten Reizen in der dominanten Dimension

interpretieren. Auch hier ist das fehlende Korrelat in den Verhaltensdaten durch den „Deckeneffekt“ (siehe oben) zu erklären.

Die  $N_i$  zeigte sich an parietalen Elektroden nur bei Älteren sowohl im einfachen Block Farbe als auch im einfachen Block Wortbedeutung. Dies deckt sich mit den Verhaltensdaten: Ältere zeigten im Vergleich zu Jüngeren eine höhere Fehlerrate bei inkongruenten Reizen. Die parietale Topografie und zeitliche Überschneidung legt nahe, dass die  $N_i$  mit der P3 verknüpft ist. Ähnlich wie bei Aufgabenwechsel/-wiederholung zeigt sich in der Bedingung mit dem größeren Konflikt eine kleinere P3 - im Falle der  $N_i$  auf inkongruente Reize jedoch nur für die Gruppe der Älteren.

Möglicherweise wird die P3 (sowohl im Stroop- als auch im Aufgabenwechsel-Paradigma) aber auch durch eine Negativierung überlagert, welche mit Prozessen der Interferenzbewältigung verknüpft ist. Der Zusammenhang zwischen  $N2$  und  $N_i$  sowie die verknüpften Altersveränderungen konnten in der vorliegenden Studie also nicht endgültig entschlüsselt werden. Weitere Untersuchungen könnten hier Aufschluss über die beteiligten Hirnareale liefern, z.B. unter Zuhilfenahme quellenanalytischer Verfahren (Dipol-Quellenanalyse, LORETA, current source density) oder der fMRT. Deutlich wird jedoch, dass Ältere sowohl die Interferenz auf inkongruente Reize als auch die Interferenz durch die vorangehende Aufgabe anders bewältigen als Jüngere.

Beide Gruppen zeigten eine kleinere P3 beim Aufgabenwechsel, jedoch war die P3 bei Jüngeren mehr parietal verteilt. Bei Älteren erstreckte sie sich über den fronto-parietalen Skalp. Damit konnten die Ergebnisse des Aufgabenwechsel-Paradigmas auf das kombinierte Stroop-Switch-Paradigma übertragen werden. Zwar zeigten Ältere eine größere frontale P3, jedoch war sie bei einem Aufgabenwechsel an frontalen Elektroden kleiner als bei einer Aufgabenwiederholung. Jüngere zeigten hingegen zwar insgesamt eine kleinere frontale P3, diese war bei einem Aufgabenwechsel aber etwas höher als bei einer Aufgabenwiederholung.

Folgt man der Inhibitions-Hypothese von Polich, so heißt das, dass der Prozess der Inhibition der Stimulus-Verarbeitung bei Älteren insgesamt stärker ausgeprägt ist (P3a). Bei einem Aufgabenwechsel können jedoch weniger Ressourcen für die Inhibition der Stimulus-Verarbeitung bereitgestellt werden. Die Inhibition von neuronaler Aktivität zur Verbesserung des Transfers der Stimulus-Informationen

zu temporal-parietalen Arealen (P3b) ist bei Älteren insgesamt schwächer ausgeprägt. Hier werden mit Arbeitsgedächtnis verknüpfte Prozesse (Aufrechterhaltung des Aufgabenkontextes) eingeleitet. Diese Prozesse sind generell abgeschwächt, wenn weniger Ressourcen zur Verfügung stehen, da die Aufgabenbearbeitung mehr Ressourcen beansprucht (Aufgabenwechsel).

Dies deckt sich mit den Ergebnissen der Verhaltensdaten: Nur die Älteren zeigten nämlich einen Unterschied zwischen Aufgabenwiederholung und Aufgabenwechsel (längere Reaktionszeiten) auf Verhaltensebene. Dies ist dadurch zu erklären, dass sie weniger Ressourcen für die Stimulus-Inhibition bereitstellen (können) als bei einer Aufgabenwiederholung.

## 4 Studie II: Einfluss von Training

### 4.1 Methodik

#### 4.1.1 Allgemeine Versuchsdurchführung

Die Allgemeine Untersuchungsdurchführung erfolgte wie bereits in Kapitel 3.1.1 beschrieben. Nachdem die Teilnehmer die 4 Bausteine der Untersuchung absolviert hatten, wurden sie per Generierung von Zufallszahlen (SPSS 17, aktiver Zufallszahlgenerator Mersenne-Twister; Matsumoto & Nishimura, 1998) den Trainings- bzw. Kontrollgruppen zugeordnet. Die Teilnehmer wurden telefonisch über die Gruppenzugehörigkeit, Ort des Trainings und die Trainingszeiten informiert. Das Training fand in drei Kohorten jeweils zweimal wöchentlich für jeweils 90 Minuten über 4 Monate statt (32 Trainingseinheiten). Nach Abschluss des Trainings fand die Nachuntersuchung statt. An der Nachuntersuchung nahmen 142 Versuchspersonen teil, 10 Personen waren im Verlauf der Studie aus unterschiedlichen Gründen (Krankheit, Umzug, Tod) ausgeschieden. Die Daten von 135 Versuchspersonen konnten für die Auswertung verwendet werden, da bei der Aufzeichnung des EEG bei einigen Versuchspersonen technische Probleme aufgetreten waren.

#### 4.1.2 Stichprobenbeschreibung

An der Studie konnten Personen teilnehmen, die zum Zeitpunkt der Akquise 1) mindestens 65 Jahre alt waren, 2) selbständig lebten, 3) körperlich mobil waren, 4) sich nicht in psychopharmakologischer Behandlung befanden, und 5) im Mini-Mental-Status-Test (MMST) eine Punktzahl von mindestens 24 erreichten und 6) eine ausreichende Seh- und Hörfähigkeit (auch korrigiert) besaßen. Im telefonischen Erstkontakt wurden die Personen gefragt, ob sie regelmäßig Sport (Joggen, Walken, Schwimmen, Tanzen) oder Gehirnjogging (z. B. Gedächtnistraining) betreiben. Als Kriterium für die Studienaufnahme wurden maximal 1,5 Stunden regelmäßige sportliche oder kognitive Betätigung pro Woche angesetzt. Tägliche Aktivitäten (Spazierengehen, zu Fuß einkaufen, Radfahren, Treppensteigen, Gartenarbeit) wurden nicht berücksichtigt.

Die Gruppen unterschieden sich nicht signifikant hinsichtlich der Schulbildung und der Geschlechterverteilung (Chi-Quadrat-Test,  $p > .05$ ).

In Tabelle 5 sind die soziodemografischen Daten der Stichprobe der Versuchsteilnehmer der Trainingsstudie dargestellt.

**Tabelle 5:** Soziodemografische Daten der Teilnehmer der Trainingsstudie

Gruppe	N	Geschlecht		Alter		Schulbildung			
		♀	♂	M (SD)	Range	1	2	3	4
KörTG	34	20	14	70,9 (±3,6)	65-79	16	9	9	0
KogTG	32	20	12	71,1 (±4,2)	65-82	8	15	7	2
SozKG	34	21	13	71,0 (±4,4)	65-87	14	13	6	1
PasKG	35	22	13	69,7 (±4,2)	65-88	12	12	10	1
Gesamt	135	83	52	70,6 (±4,1)	65-88	50	49	32	4

Erläuterungen: Schulbildung: 1 = Hauptschule/Volksschule, 2 = Realschule (oder vergleichbar), 3 = Gymnasium, (Fach-)Hochschule, 4 = kein Abschluss

### 4.1.3 Gruppen und Interventionen

#### 4.1.3.1 Körperliches Training (KörTG)

Das körperliche Training setzte sich aus einer Kombination von Ausdauer- und Krafttraining zusammen. Die Länge der Trainingseinheiten wurde auf 90 Minuten festgelegt. Es wurde ein zirkuläres Training durchgeführt, in dem Ausdauer- und Krafttraining zu ungefähr gleichen Anteilen pro Sitzung absolviert wurden. Das Training setzte sich aus folgenden Bestandteilen zusammen:

- Der *Aerobic-Kurs* wurde durch eine ausgebildete Übungsleiterin betreut. Durch eine Kombination leicht erlernbarer Schrittfolgen mit Bodenübungen, die ohne Anspruch an die Koordinationsfähigkeit ausgesucht wurden, wurde ein aerober Effekt (erhöhte Aufnahme von Sauerstoff) erzielt. Nach der Eingewöhnungsphase wurden Tempo und Dauer erhöht und so die Intensität gesteigert, wobei weniger leistungsstarke Probanden nicht überfordert wurden.

- Das *gerätegestützte aerobe Training* wurde an Laufbändern, Fahrrad-Ergometern sowie Crosstrainern durchgeführt. Alle Geräte waren mit Pulssensoren ausgestattet, die eine ständige Kontrolle der Herzfrequenz erlaubten. Zur Berechnung der maximalen Pulsfrequenz wurde das Lebensalter von dem fixen Wert 220 subtrahiert (vorausgesetzt der Gesundheitszustand des Probanden erlaubte diesen Maximalwert). In der Eingewöhnungsphase orientierte sich das Training vorrangig an der subjektiv empfundenen Belastung und dem Wohlbefinden der Probanden. Die Intensität wurde durch längere Trainingseinheiten oder höhere Wattzahlen erhöht. Die Intensitätssteigerung wurde allerdings erst nach Ablauf der Eingewöhnungsphase von 4 Wochen eingeführt.
- *Antagonistischer Kraft-Ausdauer-Zirkel*: Dieses kombinierte Kraft-Ausdauer-Training bestand aus 8 verschiedenen Übungskombinationen. Jede Übungskombination setzte sich aus zwei Übungen zusammen, die gegenläufige Bewegungsrichtungen aufwiesen. Somit wurde Aktivierung eines agonistischen mit seinem antagonistischen Muskel erreicht und die Durchblutung der betreffenden Körperpartie gefördert. Es wurden dabei jeweils 3 Sätze á 15 Wiederholungen angesetzt. Diese 15 Wiederholungen wurden im Laufe des Trainings mit immer mehr Leistung (bedingt durch Reduzierung der Pausen und Erhöhung der Widerstände) ausgefüllt. Ziel war neben der Herz-Kreislauf-Aktivierung und der damit einhergehenden erhöhten Sauerstoffaufnahme auch eine Kräftigung der gesamten Skelettmuskulatur und Erhöhung der Knochendichte. Durch die Zirkelcharakterisierung wurde ebenfalls ein aerober Effekt angestrebt. Das Training konnte nach der Eingewöhnungsphase, z. B. durch Verkürzung der Pausen verschärft werden. Als Trainer wurden ausgebildete Physiotherapeuten und Übungsleiter sowie ein Student der Sportwissenschaften eingesetzt.

#### 4.1.3.2 Kognitives Training (KogTG)

Eine detaillierte Beschreibung der eingesetzten Programme und Übungen findet sich im Anhang dieser Arbeit. An dieser Stelle soll nur ein kurzer Überblick über das Konzept des kognitiven Trainings gegeben werden.

Das Training setzte sich aus folgenden Bestandteilen zusammen:

- Zu Beginn des kognitiven Trainings wurden *einführende Informationen* zum Aufbau des Gehirns und zur Informationsverarbeitung gegeben, sowie Hauptfunktionen wie Gedächtnis, Aufmerksamkeit oder Konzentrationsfähigkeit erläutert. Des Weiteren wurden Fragen zu altersbedingten Veränderungen der kognitiven Funktionen erörtert und deren Relevanz für alltägliche Aufgaben besprochen. In diesem Zusammenhang wurden verschiedene *Gedächtnisstrategien* (Zahlen-Bilder-System, Loci-Methode) mit den Teilnehmern eingeübt.
- Daran anknüpfend wurden Aufgaben mit *Papier und Stift* bearbeitet. Es wurden Übungen aus dem mentalen Aktivierungstraining (MAT) durchgeführt, außerdem wurden Aufgaben aus dem Buch „Denksport für Ältere“ (Klauer, 2008) eingesetzt sowie Sudoku-Logikrätsel. Zusätzlich wurde in der ersten Phase der *Umgang mit Computertastatur und -maus* auf spielerische Art geübt, um einen reibungslosen Übergang in die zweite Phase zu gewährleisten, in welcher ein PC-gestütztes Training angewandt wurde. Die Trainingseinheiten bauten aufeinander auf und der Schwierigkeitsgrad nahm individuell zu.
- In der zweiten Trainingsphase wurden *Übungen am PC* durchgeführt. Dabei wurden verschiedene im Internet zugängliche Programme eingesetzt (peds Braintrainer, mentaga GYM und Mental Aktiv). Dabei legte jeder Teilnehmer ein Anwenderkonto an, unter dem alle Übungsergebnisse gespeichert wurden. Auf diese Weise erhielt jeder Teilnehmer einen Überblick über seine Leistungen und Fortschritte.

Das Training wurde nach dem Gesichtspunkt konzipiert, dass die Übungen möglichst abwechslungsreich sind. So wurden die Übungen insgesamt höchstens zweimal durchgeführt. Dies sollte zum einen dafür sorgen, dass die Teilnehmer das Training interessant und kurzweilig finden. Zum anderen sollte vermieden werden, dass spezielle Bereiche hochtrainiert werden, z.B. nur Förderung der räumlichen Aufmerksamkeit und des logischen Denkens durch Sudoku-Aufgaben.

Bei der Auswahl des Trainingsprogrammes wurde darauf geachtet, dass eine Fortführung des Trainings ohne große Kosten für die Teilnehmer möglich ist.

Als Trainerin wurde eine anerkannte MAT-Trainerin rekrutiert (zertifiziert durch die Gesellschaft für Gehirntraining e.V.), die zudem langjährige Erfahrung mit Gehirnjogging bei Senioren vorwies. Als Assistentin wurde eine Pädagogikstudentin engagiert.

#### **4.1.3.3 Soziale Kontrollgruppe (SozKG)**

Die soziale Kontrollgruppe erhielt ein Entspannungstraining. Das Entspannungstraining bestand aus mehreren Maßnahmen, durch welche ein unmittelbarer Effekt auf kognitive Funktionen nicht zu erwarten war bzw. bislang nicht nachgewiesen wurde. Die Zusammenstellung diverser Entspannungsmaßnahmen sorgte dafür, dass das (Quasi-)Training abwechslungsreich und interessant war und die Teilnehmer so durch den gesundheitsförderlichen Charakter der Maßnahme motiviert wurden, alle Trainingseinheiten zu absolvieren. Im Vordergrund stand das soziale Miteinander, das in gleichem Umfang und Häufigkeit wie in den beiden Trainingsgruppen stattfand. Es wurden folgende Inhalte in das Programm aufgenommen: Gymnastik, Stretching, Muskellockerung und -dehnung, Rückenschule, autogenes Training, progressive Muskelentspannung, Atemübungen, Quigong und Massage. Ein zweiter Baustein des Trainings war die gesundheitliche Aufklärung. Dabei wurde über allgemeines Gesundheitsverständnis, Ernährung und Ernährungsirrtümer, Suchtmittel, Bewegung, Genuss als Mittel zur Steigerung der Lebensqualität und weitere verwandte Themen in der Gruppe diskutiert. Ergänzt wurde das Programm durch Spiele, um das soziale Gefühl zu stärken und die Gruppenidentifikation zu fördern.

Das Training wurde von einer professionellen VHS-Trainerin betreut, die auf den Bereich der Entspannungstechniken spezialisiert und bereits an Projekten zur Gesundheitsförderung für Senioren beteiligt war.

#### **4.1.3.4 Passive Kontrollgruppe (PasKG)**

Die Teilnehmer der passiven Kontrollgruppe gingen während der 4 Monate ihren täglichen Aktivitäten nach, ohne dass eine Veränderung ihres Lebensablaufs durch die Studie eingetreten wäre.

#### 4.1.4 Versuchsaufbau

Der Ablauf war derselbe wie in Kapitel 3.1.3.1 beschrieben. Die Apparatur entsprach ebenfalls der Beschreibung in Kapitel 3.1.3.2.

Das Reizmaterial sowie die Reizdarbietung wurden wie in Kapitel 3.1.3.3 beschrieben eingesetzt.

##### 4.1.4.1 Versuchsplan

Die Studie wurde als eine randomisierte und kontrollierte 4-monatige Trainingsstudie mit einer Prä- und Postuntersuchung konzipiert. Unabhängige Variable war die Gruppe, die mit vier Ausprägungen zwischen den Probanden variiert wurde. Die Versuchspersonen lassen sich somit in vier Gruppen unterteilen. Hinsichtlich der Fragestellung sollten die altersassoziierten Effekte auf die erhobenen elektrophysiologischen Variablen und Verhaltensdaten zwischen den beiden Gruppen verglichen werden. Der Versuchsplan der Studie 1 wurde übernommen, die unabhängige Variable „Gruppe“ wurde geändert, indem die vier Trainings- bzw. Kontrollgruppen an Stelle der Älteren und Jüngeren gesetzt wurden. Außerdem wurde der Versuchsplan um die unabhängige Variable „Messzeitpunkt“ ergänzt.

Als unabhängige und abhängige Variablen ergaben sich also wie folgt:

Unabhängige Variablen:

- Gruppe (KörTG, KogTG, SozKG, PasKG)
- Messzeitpunkt (Vormessung, Nachmessung)
- Block (einfach Wortbedeutung, einfach Farbe, gemischter Block) oder Art des Blocks (einfach vs. gemischt)
- Kongruenz (kongruent vs. inkongruent)
- Relevante Dimension (Farbe vs. Wortbedeutung)
- Aufgabenabfolge (nur gemischter Block, Wechsel vs. Wiederholung)
- Mischkosten (einfacher Block vs Wiederholungsdurchgänge gemischter Block)

Abhängige Variablen:

- Verhaltensdaten (mittlere Reaktionszeiten, Fehlerrate)
- N2 (Peakamplitude und Latenz an den Elektroden Fz und Cz)

- CueP3, P3 (mittlere Amplitude, Lateralität und Anteriorität bilden ein Array von 9 Elektroden um Cz)

Das Differenzpotenzial  $N_i$  war sehr gering ausgeprägt, die Unterschiede zwischen Vor- und Nachmessung waren so gering, dass von einer weiteren statistischen Analyse abgesehen wurde.

Für eine Beschreibung und tabellarische Auflistung der Innersubjektfaktoren siehe Kapitel 3.1.3.4.

#### **4.1.5 Datenerfassung und –aufzeichnung**

Die Erfassung der Verhaltensdaten sowie die elektrophysiologische Registrierung erfolgte wie in den Kapiteln 3.1.4.1 und 3.1.4.2 dargestellt.

#### **4.1.6 Datenanalyse**

Die EEG-Analyse erfolgte wie in Kapitel 3.1.5.1 dargestellt. Die Parametrisierung erfolgte analog zur ersten Studie (siehe Kapitel 3.1.5.2).

##### **4.1.6.1 Statistische Auswertung**

Die statistische Auswertung erfolgte analog zur Auswertung wie in Kapitel 3.1.5.3 beschrieben.

Es wurden die gleichen ANOVAs durchgeführt, wie in Kapitel 3.1.5.3 dargestellt. Sie wurden jeweils um den Faktor Messzeitpunkt (Vormessung, Nachmessung) erweitert. Um die Hypothesen über die Gruppenzugehörigkeit und die damit verbundenen Unterschiede zwischen dem ersten und zweiten Messzeitpunkt genauer untersuchen zu können, wurden Differenzwerte aus den Daten der Vormessung und der Nachmessung gebildet und Mittelwertsunterschiede der Gruppen mit a-priori-Kontrasten untersucht. Hier wurde der Levene-Test zur Überprüfung der Varianzgleichheit ausgeführt. Im Falle von homogenen Varianzen wurden die Freiheitsgrade korrigiert.

Es wurden a-priori-Kontraste zwischen den beiden Trainingsgruppen (KogTG und KörTG) und den Kontrollgruppen (SozKG und PaskKG) gebildet. Des Weiteren wurden Kontraste zwischen der KogTG und der SozKG, der KogTG und der PaskKG, der KörTG und der SozKG, der KörTG und der PaskKG, sowie

zwischen den KörTG und KogTG und SozKG und PasKG berechnet. Um sicherzustellen, dass Unterschiede zum Zeitpunkt der Vormessung auszuschließen sind, wurden die Daten der Vormessung mit post-hoc-Tests auf Gruppenunterschiede untersucht.

## 4.2 Ergebnisse

Der Ergebnisteil beschränkt sich auf die Darstellung der Effekte des Messzeitpunktes und der Gruppe und den damit verknüpften Interaktionen. Die Analyse der Gruppenunterschiede (post-hoc-Tests) zum ersten Messzeitpunkt ergab keine signifikanten Effekte. Zur Untersuchung von Veränderungen der in den Gruppen zwischen den beiden Messzeitpunkten wurden die Differenzwerte zwischen Vor- und Nachmessung für die einzelnen Bedingungen berechnet und die a-priori-Kontraste wie in Kapitel 4.1.6.1 beschrieben berechnet.

### 4.2.1 Verhaltensdaten

#### 4.2.1.1 Zusammenfassung der Ergebnisse der Verhaltensdaten

Es zeigte sich ein Haupteffekt des Messzeitpunktes sowohl für die Reaktionszeiten als auch für die Fehlerraten. Zum Zeitpunkt der zweiten Messung waren die mittleren Reaktionszeiten und Fehlerraten niedriger als zum Zeitpunkt der ersten Messung.

Für die Reaktionszeiten ergab sich eine Interaktion zwischen Messzeitpunkt und Block, nur im einfachen Block Farbe und im gemischten Block waren die Reaktionszeiten bei der zweiten Messung signifikant niedriger. Für die Dimension Farbe war der Unterschied zwischen Vor- und Nachmessung größer als für die Dimension Wortbedeutung.

Im einfachen Block Farbe zeigte die KogTG eine größere Verbesserung der Reaktionszeiten im Vergleich zu allen anderen Gruppen. Auch bei inkongruenten Reizen war die Verbesserung der Reaktionszeit der KogTG im Vergleich zur PasKG und KörTG höher.

Für die Fehlerrate ergab sich eine Interaktion zwischen Messzeitpunkt und Kongruenz. Nur bei inkongruenten Reizen konnten die Versuchspersonen ihre Fehlerrate verbessern. Eine Interaktion zwischen Messzeitpunkt und Dimension

entstand daraus, dass die Versuchspersonen ihre Fehlerrate nur für die Dimension Farbe verbesserten. Ebenso zeigte sich, dass die Versuchspersonen nur bei einem Aufgabenwechsel (nicht bei einer Aufgabenwiederholung) ihre Fehlerrate verbesserten.

Die a-priori-Kontraste zeigten differenzielle Effekte der Gruppen nur im gemischten Block. Die KörTG und die KogTG verbesserten sich vor allem gegenüber der PaskG. Insgesamt zeigte sich eine größere Verbesserung der Trainings- im Vergleich zu den Kontrollgruppen. Dies zeigte sich im Speziellen für inkongruente Reize des gemischten Blocks. Die KogTG verbesserte sich mehr als die SozKG und die PaskG, insgesamt zeigten die Trainingsgruppen eine größere Verbesserung als die Kontrollgruppen. Dies zeigte sich sowohl für die Dimension Farbe als auch für die Dimension Wortbedeutung des gemischten Blocks. Allerdings zeigte sich bei inkongruenten Reizen der Dimension Farbe nur eine Verbesserung der KogTG gegenüber der PaskG.

Für die Aufgabenwiederholungen des gemischten Blocks zeigte sich eine größere Verbesserung der KogTG gegenüber der SozKG und der PaskG. Insgesamt verbesserten sich die Trainingsgruppen mehr als die Kontrollgruppen. Das gleiche Muster zeigte sich für die Aufgabenwechsel, hier wurde jedoch nur der Vergleich zwischen Trainings- und Kontrollgruppen signifikant.

#### 4.2.1.2 Reaktionszeiten

##### Effekte des Blocks

Es wurde eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Messzeitpunkt und Block (einfach Wortbedeutung, einfach Farbe, gemischt) und dem Zwischensubjektfaktor Gruppe durchgeführt.

Es zeigte sich ein Haupteffekt des Messzeitpunktes  $F(1,131) = 6.7$ ,  $p = .010$ . Zum Zeitpunkt der zweiten Messung reagierten die Versuchspersonen insgesamt etwas schneller (1204 ms) als zum Zeitpunkt der ersten Messung (1237 ms).

Es ergab sich eine Interaktion zwischen Messzeitpunkt und Block  $F(2,262) = 8$ ,  $p = .001$ . Diese war darauf zurückzuführen, dass sich die mittleren Reaktionszeiten der Versuchspersonen zwischen Vor- und Nachmessung nur im einfachen Block Farbe und im gemischten Block signifikant unterschieden ( $p < .010$ , Tabelle 6).

**Tabelle 6:** Tabellarische Übersicht über die mittleren Reaktionszeiten in ms für die Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG und Gesamt zum Zeitpunkt der Vormessung und Nachmessung in den einfachen Blöcken und im gemischten Block.

Bedingung	Gruppe	Vormessung	Nachmessung
einfach Wortbedeutung	KörTG	949	981
	KogTG	954	935
	SozKG	934	931
	PasKG	930	957
	Gesamt	941	951
einfach Farbe	KörTG	1194	1188
	KogTG	1229	1111
	SozKG	1151	1143
	PasKG	1178	1139
	Gesamt	1187	1146
gemischt	KörTG	1657	1627
	KogTG	1583	1475
	SozKG	1556	1477
	PasKG	1530	1484
	Gesamt	1581	1516

**Tabelle 7:** Tabellarische Übersicht über die Kontraste der Differenz-Reaktionszeiten zwischen den Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG sowie Trainings- vs. Kontrollgruppen in den einfachen Blöcken und im gemischten Block. Aufgelistet sind T-Wert ( $T$ ), Freiheitsgrade ( $df$ ) und Irrtumswahrscheinlichkeit ( $p$ ).

Block	Kontrast	$T$	$df$	$p$
einfach Wortbedeutung	KörTG vs. KogTG	1,30	131	.197
	KörTG vs. SozKG	0,92	131	.359
	KörTG vs. PasKG	0,12	131	.906
	KogTG vs. SozKG	-0,39	131	.697
	KogTG vs. PasKG	-1,19	131	.237
	SozKG vs. PasKG	-0,81	131	.420
	Training vs. Kontrolle	-0,20	131	.845
einfach Farbe	KörTG vs. KogTG	2,40	131	<b>.018</b>
	KörTG vs. SozKG	0,05	131	.960
	KörTG vs. PasKG	0,73	131	.467
	KogTG vs. SozKG	-2,35	131	<b>.020</b>
	KogTG vs. PasKG	-1,70	131	<b>.092</b>
	SozKG vs. PasKG	0,68	131	.499
	Training vs. Kontrolle	-1,17	131	.244
gemischt	KörTG vs. KogTG	1,36	131	.176
	KörTG vs. SozKG	0,86	131	.390
	KörTG vs. PasKG	0,29	131	.770
	KogTG vs. SozKG	-0,51	131	.610
	KogTG vs. PasKG	-1,08	131	.281
	SozKG vs. PasKG	-0,58	131	.565
	Training vs. Kontrolle	-0,16	131	.873

Die Analyse der a-priori-Kontraste zwischen den Gruppen lieferte einen (tendenziell) signifikanten Effekt im einfachen Block Farbe zwischen KogTG und KörTG, KogTG und SozKG sowie KogTG und PasKG (siehe Tabelle 7). Zwar zeigten alle Gruppen zum zweiten Messzeitpunkt eine niedrigere Reaktionszeit, jedoch war die Differenz in der KogTG am größten (siehe Tabelle 6).

### **Art des Blocks und Kongruenz**

Es wurde eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Messzeitpunkt, Art des Blocks (einfach vs. gemischt) und Kongruenz sowie dem Zwischensubjektfaktor Gruppe durchgeführt.

Es zeigte sich eine statistisch bedeutsame Interaktion zwischen der Art des Blocks und dem Messzeitpunkt  $F(1,131) = 7.59, p = .007$ .

Der Effekt des Messzeitpunktes wurde nur für den gemischten Block signifikant  $F(1,131) = 11.3, p = .001$ . Hier zeigten die Versuchspersonen zum zweiten Messzeitpunkt eine niedrigere Reaktionszeit (1548 ms) als zum ersten Messzeitpunkt (1615 ms).

Die Interaktion zwischen Messzeitpunkt und Kongruenz war nicht signifikant. Es zeigten sich keine weiteren Effekte oder Interaktionen mit dem Messzeitpunkt oder der Gruppe.

Die Analyse der a-priori-Kontraste lieferte einen signifikanten Effekt für die inkongruenten Reize in den einfachen Blöcken. Hier wurde auch Unterschied zwischen KogTG und PasKG sowie zwischen KogTG und KörTG signifikant (Tabelle 8). Die KogTG konnte ihre Reaktionszeit im Vergleich zur Vormessung verringern, während die Reaktionszeiten in den verglichenen Gruppen zum zweiten Messzeitpunkt sogar etwas höher waren (Tabelle 9).

**Tabelle 8:** Tabellarische Übersicht über die Kontraste der Differenz-Reaktionszeiten zwischen den Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG sowie Trainings- vs. Kontrollgruppen in den einfachen Blöcken und im gemischten Block für kongruente und inkongruente Reize. Aufgelistet sind T-Wert ( $T$ ), Freiheitsgrade ( $df$ ) und Irrtumswahrscheinlichkeit ( $p$ ).

Bedingung	Kontrast	$T$	$df$	$p$
einfach kongruent	KörTG vs. KogTG	-1,83	131	.069
	KörTG vs. SozKG	-0,12	131	.905
	KörTG vs. PasKG	-0,46	131	.645
	KogTG vs. SozKG	1,72	131	.089
	KogTG vs. PasKG	1,39	131	.166
	SozKG vs. PasKG	-0,34	131	.733
	Training vs. Kontrolle	0,90	131	.368
einfach inkongruent	KörTG vs. KogTG	-2,85	131	.005
	KörTG vs. SozKG	-1,24	131	.217
	KörTG vs. PasKG	-0,61	131	.544
	KogTG vs. SozKG	1,63	131	.106
	KogTG vs. PasKG	2,27	131	.025
	SozKG vs. PasKG	0,64	131	.522
	Training vs. Kontrolle	0,74	131	.461
gemischt kongruent	KörTG vs. KogTG	1,31	131	.191
	KörTG vs. SozKG	0,59	131	.555
	KörTG vs. PasKG	0,12	131	.907
	KogTG vs. SozKG	-0,73	131	.467
	KogTG vs. PasKG	-1,21	131	.230
	SozKG vs. PasKG	-0,48	131	.633
	Training vs. Kontrolle	-0,44	131	.661
gemischt inkongruent	KörTG vs. KogTG	1,52	131	.130
	KörTG vs. SozKG	1,26	131	.212
	KörTG vs. PasKG	0,44	131	.664
	KogTG vs. SozKG	-0,29	131	.775
	KogTG vs. PasKG	-1,10	131	.272
	SozKG vs. PasKG	-0,83	131	.409
	Training vs. Kontrolle	0,10	131	.921

**Tabelle 9:** Tabellarische Übersicht über die mittleren Reaktionszeiten in ms für die Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG und Gesamt zum Zeitpunkt der Vormessung und Nachmessung in den einfachen Blöcken und im gemischten Block für kongruente und inkongruente Reize.

Bedingung	Gruppe	Vormessung	Nachmessung
einfach kongruent	KörTG	1006	1011
	KogTG	1020	959
	SozKG	963	964
	PasKG	969	958
	Gesamt	989	973
einfach inkongruent	KörTG	1130	1161
	KogTG	1163	1082
	SozKG	1125	1108
	PasKG	1138	1145
	Gesamt	1139	1125
gemischt kongruent	KörTG	1543	1503
	KogTG	1445	1318
	SozKG	1395	1316
	PasKG	1390	1342
	Gesamt	1443	1370
gemischt inkongruent	KörTG	1834	1818
	KogTG	1784	1681
	SozKG	1795	1709
	PasKG	1733	1694
	Gesamt	1786	1726

### Art des Blocks und relevante Dimension

Es wurde eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Messzeitpunkt, Art des Blocks (einfach vs. gemischt) und relevante Dimension sowie dem Zwischensubjektfaktor Gruppe durchgeführt.

Es ergab sich eine Interaktion zwischen Messzeitpunkt und relevanter Dimension  $F(1,131) = 4.4$ ,  $p = .039$ . Die relevante Dimension hatte zu beiden Messzeitpunkten einen signifikanten Effekt auf die Reaktionszeiten ( $p < .001$ ). Der Effekt des Messzeitpunktes war für beide relevanten Dimensionen (Wortbedeutung und Farbe) signifikant ( $p < .050$ ). Der Unterschied zwischen Vor- und Nachmessung war jedoch für die Dimension Farbe größer (55 ms) als für die Dimension Wortbedeutung (29 ms).

Eine 3-fache Interaktion ergab sich zwischen Messzeitpunkt, relevanter Dimension und Art des Blocks  $F(1,131) = 4.4$ ,  $p = .039$ . Dieser Effekt ließ sich darauf zurückführen, dass der Effekt des Messzeitpunktes im einfachen Block nur für die relevante Dimension Farbe signifikant wurde  $F(1,131) = 6.8$ ,  $p = .010$ .

Hier zeigten die Versuchspersonen bei der Nachmessung eine niedrigere Reaktionszeit (1146 ms) als bei der Vormessung (1187 ms). Für die Wortbedeutung ergab sich im einfachen Block kein signifikanter Unterschied zwischen Vormessung (941 ms) und Nachmessung (951 ms).

Die Analyse der a-priori-Kontraste zwischen den Gruppen lieferte nur die bereits bekannten (tendenziell) signifikanten Effekte im einfachen Block Farbe zwischen KogTG und KörTG, KogTG und SozKG sowie KogTG und PasKG (Tabelle 6).

### **Art des Blocks und relevante Dimension (für Differenzwerte inkongruent – kongruent)**

Zunächst wurde die Differenz aus den mittleren Reaktionszeiten (inkongruent – kongruent) gebildet. Anschließend wurde eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Messzeitpunkt, Art des Blocks und relevante Dimension sowie dem Zwischensubjektfaktor Gruppe durchgeführt.

Der Effekt des Messzeitpunktes war nicht signifikant  $F(1,131) = .72, p = .404$ .

Die Interaktion zwischen Messzeitpunkt und relevanter Dimension war ebenfalls nicht signifikant  $F(1,131) = .002, p = .969$ .

Die Analyse der a-priori-Kontraste lieferte ebenfalls keine signifikanten Effekte.

### **Aufgabenabfolge**

Für den gemischten Block wurde eine ANOVA mit dem Innersubjektfaktor Messzeitpunkt und Aufgabenabfolge und dem Zwischensubjektfaktor Gruppe durchgeführt.

Es zeigte sich ein signifikanter Effekt des Messzeitpunktes für den gemischten Block  $F(1,131) = 10.5, p = .001$ . Insgesamt zeigten die Versuchspersonen zum Zeitpunkt der Nachmessung eine niedrigere Reaktionszeit (1519 ms) als zum Zeitpunkt der Vormessung (1585 ms).

Die Analyse der a-priori-Kontraste lieferte keine signifikanten Unterschiede der Differenzwerte zwischen Vor- und Nachmessung (Tabelle 10).

### **Mischkosten**

Für die einfachen Blöcke und die Aufgabenwiederholungen des gemischten Blocks wurde eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Messzeitpunkt und Mischkosten und dem Zwischensubjektfaktor Gruppe durchgeführt.

Es zeigte sich eine Interaktion zwischen dem Messzeitpunkt und den Mischkosten  $F(1,131) = 5.05$ ,  $p = .026$ . Dieser Effekt ließ sich darauf zurückführen, dass mit dem Messzeitpunkt nur in den Aufgabenwiederholungen des gemischten Blocks ein statistisch bedeutsamer Unterschied einherging  $F(1,131) = 9.3$ ,  $p = .003$ . Die Versuchspersonen reagierten in der Nachmessung insgesamt etwas schneller (1471 ms) als in der Vormessung (1530 ms).

Im einfachen Block gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Messzeitpunkten.

Die Analyse der a-priori-Kontraste ergab jedoch einen Effekt im einfachen Block. Hier zeigte sich eine größere Reduktion der Reaktionszeit der KogTG im Vergleich zur KörTG und tendenziell auch im Vergleich zur SozKG und PasKG (siehe Tabellen 10 und 11).

**Tabelle 10:** Tabellarische Übersicht über die Kontraste der Differenz-Reaktionszeiten zwischen den Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG sowie Trainings- vs. Kontrollgruppen in den Aufgabenwiederholungen und Aufgabenwechseln des gemischten Blocks und in den einfachen Blöcken. Aufgelistet sind T-Wert ( $T$ ), Freiheitsgrade ( $df$ ) und Irrtumswahrscheinlichkeit ( $p$ ).

Bedingung	Kontrast	$T$	$df$	$p$
gemischt Aufgabenwiederholung	KörTG vs. KogTG	1,75	131	.083
	KörTG vs. SozKG	0,43	131	.670
	KörTG vs. PasKG	0,95	131	.344
	KogTG vs. SozKG	-1,33	131	.186
	KogTG vs. PasKG	-0,83	131	.409
	SozKG vs. PasKG	0,52	131	.605
	Training vs. Kontrolle	-0,29	131	.775
gemischt Aufgabenwechsel	KörTG vs. KogTG	0,86	131	.389
	KörTG vs. SozKG	1,12	131	.264
	KörTG vs. PasKG	-0,24	131	.809
	KogTG vs. SozKG	0,24	131	.810
	KogTG vs. PasKG	-1,11	131	.270
	SozKG vs. PasKG	-1,37	131	.172
	Training vs. Kontrolle	0,00	131	.998
einfach	KörTG vs. KogTG	-2,45	131	.016
	KörTG vs. SozKG	-0,67	131	.505
	KörTG vs. PasKG	-0,60	131	.548
	KogTG vs. SozKG	1,79	131	.076
	KogTG vs. PasKG	1,87	131	.063
	SozKG vs. PasKG	0,07	131	.943
	Training vs. Kontrolle	0,86	131	.392

**Tabelle 11:** Tabellarische Übersicht über die mittleren Reaktionszeiten in ms für die Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG und Gesamt zum Zeitpunkt der Vormessung und Nachmessung in den Aufgabenwiederholungen und Aufgabenwechseln des gemischten Blocks und im einfachen Block.

Bedingung	Gruppe	Vormessung	Nachmessung
gemischt Aufgabenwiederholung	KörTG	1581	1567
	KogTG	1547	1437
	SozKG	1477	1440
	PasKG	1493	1428
	Gesamt	1524	1468
gemischt Aufgabenwechsel	KörTG	1741	1697
	KogTG	1625	1519
	SozKG	1641	1519
	PasKG	1574	1546
	Gesamt	1645	1571
einfach	KörTG	1065	1083
	KogTG	1088	1019
	SozKG	1039	1034
	PasKG	1050	1047
	Gesamt	1060	1046

#### 4.2.1.3 Fehler

##### Effekte des Blocks

Es wurde eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Messzeitpunkt und Blocks (einfach Wortbedeutung, einfach Farbe, gemischt) sowie dem Zwischensubjektfaktor Gruppe durchgeführt.

Die Untersuchung der Fehlerraten lieferte einen Haupteffekt des Messzeitpunktes  $F(1,131) = 4.3$ ,  $p = .040$ . Insgesamt (alle Blöcke) verbesserten die Versuchspersonen ihre Fehlerrate von 7,6 % in der Vormessung auf 6,8 % in der Nachmessung.

Es ergaben sich keine weiteren Effekte oder Interaktionen bezogen auf den Messzeitpunkt oder die Gruppe.

Die Analyse der a-priori-Kontraste der Differenzwerte zwischen Vor- und Nachmessung lieferte folgende Ergebnisse: In den einfachen Blöcken ergaben sich keine signifikanten Gruppenunterschiede in den Differenzwerten.

Im gemischten Block ergab sich ein (tendenziell) signifikanter Unterschied zwischen KogTG und PasKG und KogTG und SozKG sowie zwischen KörTG und PasKG. Der Vergleich zwischen den beiden Trainingsgruppen (KörTG und KogTG) und den Kontrollgruppen (SozKG und PasKG) wurde ebenfalls signifikant (siehe Tabelle 12). Während die KörTG und die KogTG ihre Fehlerrate

im gemischten Block senkten, blieb sie in der SozKG gleich und erhöhte sich etwas in der PasKG (siehe Tabelle 13).

**Tabelle 12:** Tabellarische Übersicht über die Kontraste der Differenz-Fehlerraten zwischen den Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG sowie Trainings- vs. Kontrollgruppen in den Blöcken einfach Wortbedeutung, einfach Farbe und gemischt. Aufgelistet sind T-Wert ( $T$ ), Freiheitsgrade ( $df$ ) und Irrtumswahrscheinlichkeit ( $p$ ).

Block	Kontrast	$T$	$df$	$p$
einfach Wortbedeutung	KörTG vs. KogTG	-1,54	131	.127
	KörTG vs. SozKG	-0,56	131	.575
	KörTG vs. PasKG	-0,25	131	.806
	KogTG vs. SozKG	0,98	131	.328
	KogTG vs. PasKG	1,30	131	.195
	SozKG vs. PasKG	0,32	131	.749
	Training vs. Kontrolle	0,53	131	.597
einfach Farbe	KörTG vs. KogTG	0,37	131	.711
	KörTG vs. SozKG	0,08	131	.936
	KörTG vs. PasKG	0,10	131	.923
	KogTG vs. SozKG	-0,29	131	.771
	KogTG vs. PasKG	-0,28	131	.781
	SozKG vs. PasKG	0,02	131	.988
	Training vs. Kontrolle	-0,14	131	.888
gemischt	KörTG vs. KogTG	-0,86	131	.393
	KörTG vs. SozKG	1,11	131	.270
	KörTG vs. PasKG	1,71	131	.089
	KogTG vs. SozKG	1,95	131	.054
	KogTG vs. PasKG	2,55	131	.012
	SozKG vs. PasKG	0,60	131	.552
	Training vs. Kontrolle	2,59	131	.011

**Tabelle 13:** Tabellarische Übersicht über die Fehlerraten in % für die Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG und Gesamt zum Zeitpunkt der Vormessung und Nachmessung in den Blöcken einfach Wortbedeutung, einfach Farbe und gemischt.

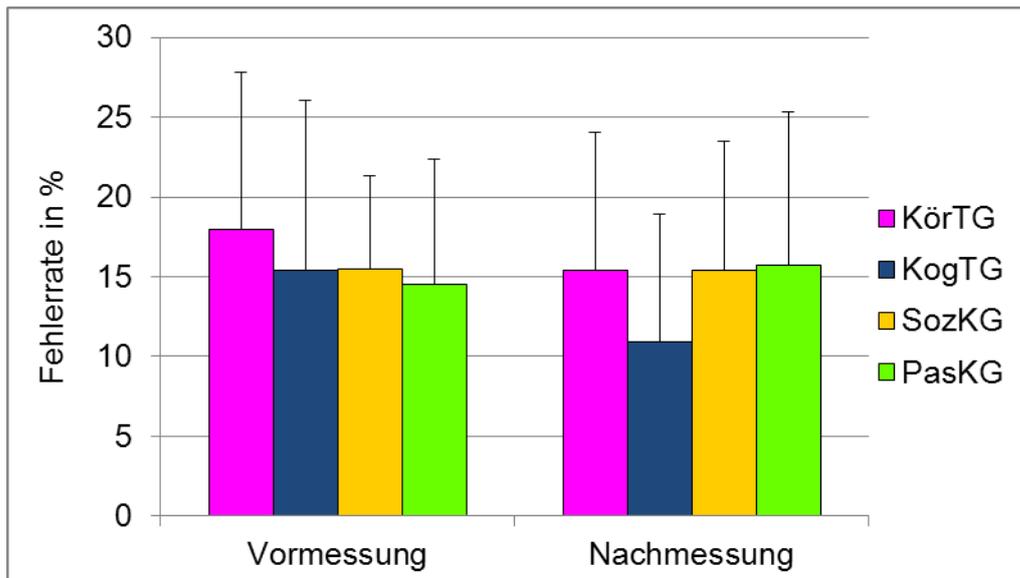
Block	Gruppe	Vormessung	Nachmessung
einfach Wortbedeutung	KörTG	1,96	2,65
	KogTG	2,94	1,72
	SozKG	2,13	2,13
	PasKG	2,07	2,47
	Gesamt	2,27	2,25
einfach Farbe	KörTG	5,02	4,09
	KogTG	4,29	3,92
	SozKG	4,56	3,75
	PasKG	4,71	3,92
	Gesamt	4,65	3,92
gemischt	KörTG	17,93	15,40
	KogTG	15,37	10,88
	SozKG	15,50	15,44
	PasKG	14,48	15,74
	Gesamt	15,82	14,43

### Art des Blocks und Kongruenz

Es wurde eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Messzeitpunkt, Art des Blocks (einfach vs. gemischt) und Kongruenz sowie dem Zwischensubjektfaktor Gruppe durchgeführt.

Es ergab sich eine Interaktion zwischen Messzeitpunkt und Kongruenz  $F(1,131) = 4.8$ ,  $p = .030$ . Diese ließ sich darauf zurückführen, dass die Versuchspersonen ihre Fehlerrate nur für inkongruente Reize signifikant verbesserten  $F(1,131) = 4.55$ ,  $p = .035$  und zwar von 15,5 % auf 14 %.

Die Analyse der a-priori-Kontraste der Differenzwerte zwischen Vor- und Nachmessung zeigte, dass sich die KogTG gegenüber der SozKG und der PasKG im gemischten Block signifikant verbessern konnte. Außerdem verbesserten sich die Trainingsgruppen gegenüber den Kontrollgruppen (siehe Tabelle 14 und Abbildung 30). Die beiden Trainingsgruppen – insbesondere die KogTG – konnten ihre Fehlerraten für inkongruente Reize des gemischten Blocks senken. Die SozKG und die PasKG zeigten hier sogar einen leichten Anstieg der Fehlerrate (siehe Tabelle 15).



**Abbildung 30:** Diagramm der Fehlerraten und Standardabweichungen in % für die Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG im gemischten Block für inkongruente Reize zum Zeitpunkt der Vormessung und Nachmessung.

**Tabelle 14:** Tabellarische Übersicht über die Kontraste der Differenz-Fehlerraten zwischen den Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG sowie Trainings- vs. Kontrollgruppen in den einfachen Blöcken und gemischtem Block für kongruente und inkongruente Reize. Aufgelistet sind T-Wert ( $T$ ), Freiheitsgrade ( $df$ ) und Irrtumswahrscheinlichkeit ( $p$ ).

Bedingung	Kontrast	$T$	$df$	$p$
gemischt kongruent	KörTG vs. KogTG	-0,61	131	.544
	KörTG vs. SozKG	0,38	131	.705
	KörTG vs. PasKG	0,63	131	.533
	KogTG vs. SozKG	0,98	131	.328
	KogTG vs. PasKG	1,23	131	.222
	SozKG vs. PasKG	0,24	131	.809
	Training vs. Kontrolle	1,14	131	.257
gemischt inkongruent	KörTG vs. KogTG	-0,84	61,595	.402
	KörTG vs. SozKG	1,20	57,176	.234
	KörTG vs. PasKG	1,46	56,909	.149
	KogTG vs. SozKG	2,44	61,256	.018
	KogTG vs. PasKG	2,75	61,405	.008
	SozKG vs. PasKG	0,33	66,937	.745
	Training vs. Kontrolle	2,70	114,407	.008

**Tabelle 15:** Tabellarische Übersicht über die Fehlerraten in % für die Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG und Gesamt zum Zeitpunkt der Vormessung und Nachmessung im gemischten Block für kongruente und inkongruente Reize.

Bedingung	Gruppe	Vormessung	Nachmessung
gemischt kongruent	KörTG	2,12	2,00
	KogTG	2,17	1,65
	SozKG	1,27	1,39
	PasKG	1,51	1,79
	Gesamt	1,76	1,71
gemischt inkongruent	KörTG	27,20	23,17
	KogTG	24,70	17,12
	SozKG	25,87	26,59
	PasKG	24,70	26,42
	Gesamt	25,62	23,44

### Art des Blocks und relevante Dimension

Es wurde eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Messzeitpunkt, Art des Blocks (einfach vs. gemischt) und relevante Dimension sowie dem Zwischensubjektfaktor Gruppe durchgeführt.

Die Interaktion zwischen relevanter Dimension und Messzeitpunkt wurde nur tendenziell signifikant  $F(1,131) = 7.73, p = .054$ . Nur für die Dimension Farbe zeigte sich ein signifikanter Effekt des Messzeitpunktes  $F(1,131) = 6.79, p = .010$ . Die Versuchspersonen verbesserten ihre Fehlerrate von 10,62 % auf 9,14 %.

Die Analyse der a-priori-Kontraste der Differenzwerte zwischen Vor- und Nachmessung lieferte folgende Ergebnisse: In den einfachen Blöcken zeigten sich keine signifikanten Gruppenunterschiede (siehe oben).

Für den gemischten Block zeigten sich für die relevante Dimension Wortbedeutung ein (tendenziell) signifikanter Unterschied zwischen KogTG und SozKG sowie zwischen KogTG und PasKG. Auch der Vergleich zwischen den Trainings- und den Kontrollgruppen wurde signifikant. Die Trainingsgruppen hatten zum zweiten Messzeitpunkt eine niedrigere Fehlerrate als zum ersten Messzeitpunkt, wohingegen die Fehlerrate in den Kontrollgruppen zum zweiten Messzeitpunkt höher war (Tabellen 16 und 17).

**Tabelle 16:** Tabellarische Übersicht über die Kontraste der Differenz-Fehlerraten zwischen den Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG sowie Trainings- vs. Kontrollgruppen im gemischten Block für die relevanten Dimensionen Wortbedeutung und Farbe. Aufgelistet sind T-Wert ( $T$ ), Freiheitsgrade ( $df$ ) und Irrtumswahrscheinlichkeit ( $p$ ).

Bedingung	Kontrast	$T$	$df$	$p$
gemischt Wortbedeutung	KörTG vs. KogTG	-0,98	131	.327
	KörTG vs. SozKG	1,02	131	.309
	KörTG vs. PasKG	0,84	131	.405
	KogTG vs. SozKG	1,99	131	.049
	KogTG vs. PasKG	1,81	131	.072
	SozKG vs. PasKG	-0,19	131	.847
	Training vs. Kontrolle	2,01	131	.047
gemischt Farbe	KörTG vs. KogTG	-0,56	131	.579
	KörTG vs. SozKG	0,96	131	.338
	KörTG vs. PasKG	1,63	131	.107
	KogTG vs. SozKG	1,50	131	.135
	KogTG vs. PasKG	2,16	131	.033
	SozKG vs. PasKG	0,66	131	.513
	Training vs. Kontrolle	2,21	131	.029

Für die Dimension Farbe wurde nur der Vergleich zwischen KogTG und PasKG sowie zwischen den Trainings- und den Kontrollgruppen signifikant (siehe Tabelle 16). Die Trainingsgruppen und die SozKG hatten zum zweiten Messzeitpunkt eine niedrigere Fehlerrate, die PasKG eine höhere Fehlerrate (Tabelle 17).

**Tabelle 17:** Tabellarische Übersicht über die Fehlerraten in % für die Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG und Gesamt zum Zeitpunkt der Vormessung und Nachmessung im gemischten Block für die relevanten Dimensionen Wortbedeutung und Farbe.

Bedingung	Gruppe	Vormessung	Nachmessung
gemischt Wortbedeutung	KörTG	11,40	10,74
	KogTG	10,46	7,25
	SozKG	9,93	11,89
	PasKG	11,87	13,33
	Gesamt	10,93	10,87
gemischt Farbe	KörTG	18,05	14,54
	KogTG	16,52	11,60
	SozKG	17,32	16,24
	PasKG	14,48	15,03
	Gesamt	16,58	14,40

### Art der Blocks und relevante Dimension (für Differenzwerte inkongruent – kongruent)

Zunächst wurde die Differenz aus den mittleren Fehlerraten (inkongruent – kongruent) gebildet. Anschließend wurde eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Messzeitpunkt, Art des Blocks und relevante Dimension sowie dem Zwischensubjektfaktor Gruppe durchgeführt.

**Tabelle 18:** Tabellarische Übersicht über die Kontraste der Differenz-Fehlerraten zwischen den Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG sowie Trainings- vs. Kontrollgruppen im gemischten Block für die Differenzen (inkongruent – kongruent) in einfachen Blöcken und gemischtem Block für die relevanten Dimensionen Wortbedeutung und Farbe. Aufgelistet sind T-Wert ( $T$ ), Freiheitsgrade ( $df$ ) und Irrtumswahrscheinlichkeit ( $p$ ).

Bedingung	Kontrast	$T$	$df$	$p$
Differenz (inkongruent – kongruent) einfach Wort	KörTG vs. KogTG	-0,05	131	.961
	KörTG vs. SozKG	-0,02	131	.988
	KörTG vs. PasKG	0,93	131	.355
	KogTG vs. SozKG	0,03	131	.973
	KogTG vs. PasKG	0,96	131	.337
	SozKG vs. PasKG	0,94	131	.347
	Training vs. Kontrolle	0,67	131	.502
Differenz (inkongruent – kongruent) einfach Farbe	KörTG vs. KogTG	-0,37	131	.714
	KörTG vs. SozKG	-0,50	131	.619
	KörTG vs. PasKG	0,01	131	.990
	KogTG vs. SozKG	-0,12	131	.902
	KogTG vs. PasKG	0,38	131	.703
	SozKG vs. PasKG	0,51	131	.608
	Training vs. Kontrolle	-0,08	131	.937
Differenz (inkongruent – kongruent) gemischt Wort	KörTG vs. KogTG	-0,55	131	.583
	KörTG vs. SozKG	1,02	131	.308
	KörTG vs. PasKG	1,13	131	.262
	KogTG vs. SozKG	1,56	131	.122
	KogTG vs. PasKG	1,66	131	.098
	SozKG vs. PasKG	0,10	131	.923
	Training vs. Kontrolle	1,90	131	.059
Differenz (inkongruent – kongruent) gemischt Farbe	KörTG vs. KogTG	-0,57	64	.574
	KörTG vs. SozKG	0,48	57	.633
	KörTG vs. PasKG	1,42	53	.161
	KogTG vs. SozKG	1,20	58	.234
	KogTG vs. PasKG	2,26	54	.028
	SozKG vs. PasKG	1,22	66	.229
	Training vs. Kontrolle	1,86	111	.066

Es zeigte sich ein signifikanter Effekt des Messzeitpunktes  $F(1,131) = 5.15$ ,  $p = .025$ . Die Differenz zwischen kongruenten und inkongruenten Reizen war zum

zweiten Messzeitpunkt kleiner. Die Interaktion zwischen Messzeitpunkt und relevanter Dimension wurde signifikant  $F(1,131) = 7.48, p = .007$ . Der Effekt des Messzeitpunktes wurde nur für die relevante Dimension Farbe signifikant  $F(1,131) = 11.75, p = .001$ . Die Differenz zwischen kongruenten und inkongruenten Reizen war in der Nachmessung geringer (16,6 %) als in der Vormessung (20,3 %).

Die Analyse der a-priori-Kontraste zeigte eine Verbesserung der KogTG im Vergleich zur PaskG für die relevante Dimension Farbe im gemischten Block. Der Vergleich zwischen den Trainings- und Kontrollgruppen wurde nur tendenziell signifikant, genau wie der Vergleich zwischen KogTG und PaskG sowie Trainings- und Kontrollgruppen für die relevante Dimension Wortbedeutung im gemischten Block (Tabelle 18).

### **Aufgabenabfolge**

Für den gemischten Block wurde eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Messzeitpunkt, Aufgabenabfolge und relevante Dimension sowie dem Zwischensubjektfaktor Gruppe durchgeführt.

Es zeigte sich eine Interaktion zwischen Messzeitpunkt und der Aufgabenabfolge  $F(1,131) = 4.42, p = 038$ . Diese ließ sich darauf zurückführen, dass sich die Fehlerrate der Versuchspersonen nur bei Aufgabenwechseln von 16,1 % auf 14 % verbesserte  $F(1,131) = 5.27, p = .023$ .

Die Analyse der a-priori-Kontraste zeigte jedoch, dass sich die Trainingsgruppen im Vergleich zu den Kontrollgruppen sowohl bei Aufgabenwiederholungen als auch bei Aufgabenwechseln verbesserten (siehe Tabellen 19 und 20). In der Bedingung „Aufgabenwiederholung“ gab es einen tendenziell signifikanten Unterschied zwischen KörTG und PaskG, zwischen KogTG und SozKG und zwischen KogTG und PaskG. In der Bedingung „Aufgabenwechsel“ wurde nur der Unterschied zwischen den Trainingsgruppen und den Kontrollgruppen signifikant. Der Vergleich von KogTG und SozKG wurde nur tendenziell signifikant wie auch der Vergleich zwischen KogTG und PaskG.

**Tabelle 19:** Tabellarische Übersicht über die Kontraste der Differenz-Fehlerraten zwischen den Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG sowie Trainings- vs. Kontrollgruppen in den Aufgabenwiederholungen und Aufgabenwechselln des gemischten Blocks insgesamt und für die relevanten Dimensionen Wortbedeutung und Farbe. Aufgelistet sind T-Wert ( $T$ ), Freiheitsgrade ( $df$ ) und Irrtumswahrscheinlichkeit ( $p$ ).

Bedingung	Kontrast	$T$	$df$	$p$
Aufgabenwiederholung	KörTG vs. KogTG	-0,85	131	.395
	KörTG vs. SozKG	1,45	131	.151
	KörTG vs. PasKG	1,95	131	.053
	KogTG vs. SozKG	2,28	131	.024
	KogTG vs. PasKG	2,78	131	.006
	SozKG vs. PasKG	0,50	131	.622
	Training vs. Kontrolle	2,99	131	.003
Aufgabenwechsel	KörTG vs. KogTG	-0,94	131	.349
	KörTG vs. SozKG	0,91	131	.366
	KörTG vs. PasKG	0,99	131	.326
	KogTG vs. SozKG	1,83	131	.069
	KogTG vs. PasKG	1,92	131	.058
	SozKG vs. PasKG	0,07	131	.943
	Training vs. Kontrolle	2,00	131	.048

**Tabelle 20:** Tabellarische Übersicht über die Fehlerraten in % für die Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG und Gesamt zum Zeitpunkt der Vormessung und Nachmessung im gemischten Block für Aufgabenwiederholungen und Aufgabenwechsel.

Bedingung	Gruppe	Vormessung	Nachmessung
Aufgabenwiederholung	KörTG	14,31	12,59
	KogTG	13,50	10,08
	SozKG	13,61	14,71
	PasKG	12,42	14,48
	Gesamt	13,45	13,02
Aufgabenwechsel	KörTG	15,21	12,73
	KogTG	13,53	8,75
	SozKG	13,70	13,40
	PasKG	14,00	13,88
	Gesamt	14,12	12,25

### Mischkosten

Für die einfachen Blöcke und die Aufgabenwiederholungen des gemischten Blocks wurde eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Messzeitpunkt und Mischkosten und dem Zwischensubjektfaktor Gruppe durchgeführt.

Es zeigte sich kein signifikanter Effekt des Messzeitpunktes  $F(1,131) = 1.85$ ,  $p = .176$ . Die Ergebnisse für die a-priori-Kontraste in den einfachen Blöcken und in den Aufgabenwiederholungen des gemischten Blocks sind obenstehend bereits beschrieben.

## 4.2.2 EKP

### 4.2.2.1 CueP3

#### Zusammenfassung

Da sich in der vorangehenden Studie keine CueP3 in den einfachen Blöcken zeigte, wurden nur die Daten des gemischten Blocks analysiert.

Für die mittlere Amplitude der CueP3 (nur gemischter Block) zeigte sich insgesamt nur ein tendenziell signifikanter Effekt des Messzeitpunktes. Die Amplitude war zum Zeitpunkt der Nachmessung insgesamt etwas höher. Jedoch zeigte sich eine Interaktion zwischen Messzeitpunkt und Dimension – nur für die Dimension Wortbedeutung zeigte sich zum zweiten Messzeitpunkt eine höhere Amplitude.

Die Berechnung der a-priori-Kontraste zeigte dass die KogTG in Aufgabenwiederholungen, in der Dimension Wortbedeutung und in der Dimension Farbe eine höhere CueP3 nach dem Training vorwies. Die KörTG zeigte hingegen nur in der Dimension Wortbedeutung eine größere CueP3 (hier zeigte sich insgesamt eine höhere Amplitude der Trainingsgruppen), in der Dimension Farbe zeigte sie sogar eine niedrigere Amplitude nach dem Training. Die KogTG hingegen zeigte eine höhere Amplitude in der Bedingung Farbe an centralen und parietalen Elektroden. Die SozKG zeigte ebenfalls eine etwas höhere Amplitude in der Bedingung Farbe allerdings nur an centralen Elektroden und der Unterschied zwischen Vor- und Nachmessung war nicht so groß wie in der KogTG.

Für Aufgabenwiederholungen zeigte sich eine größere Steigerung der Amplitude hauptsächlich für die KogTG und der SozKG im Vergleich zur KörTG (welche eine niedrigere Amplitude nach dem Training aufwies) an centralen Elektroden (Cz und C4), wobei der Unterschied zwischen Vor- und Nachmessung für die KogTG deutlich größer ausfiel.

#### Relevante Dimension und Topografie

Es wurde eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Messzeitpunkt, relevante Dimension, Lateralität und Anteriorität und dem Zwischensubjektfaktor Gruppe durchgeführt.

Es zeigte sich ein tendenziell signifikanter Effekt des Messzeitpunktes  $F(1, 131) = 3.55, p = .062$ . Nach dem Training zeigten die Versuchspersonen insgesamt eine höhere mittlere Amplitude ( $1,79 \mu\text{V}$ ) als vor dem Training ( $1,35 \mu\text{V}$ ). Es ergab sich keine signifikante Interaktion zwischen Messzeitpunkt und Gruppe  $F(3, 131) = 1.01, p = .389$ .

Es ergab sich eine signifikante Interaktion zwischen Messzeitpunkt und relevanter Dimension  $F(1, 131) = 3.98, p = .048$ . Diese ließ sich darauf zurückführen, dass sich in der Dimension Wortbedeutung ein Effekt des Messzeitpunktes für alle Gruppen zeigte  $F(1, 131) = 7.01, p = .006$ . Nach dem Training war die mittlere Amplitude höher ( $2,29 \mu\text{V}$ ) als vor dem Training ( $1,54 \mu\text{V}$ ). In der Dimension Farbe zeigte sich hingegen kein Effekt des Messzeitpunktes.

Es ergab sich außerdem eine 3-fache Interaktion zwischen Messzeitpunkt, relevanter Dimension und Gruppe. Für die Dimension Wortbedeutung ergab sich ein Haupteffekt der Gruppe: Die KogTG zeigte im Vergleich zur SozKG über beide Messzeitpunkte hinweg eine höhere Amplitude ( $p = .027$ ). Für die Dimension Farbe zeigte sich hingegen eine tendenziell signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Messzeitpunkt  $F(3,131) = 2,66, p = .051$ . Dieser Effekt wird mithilfe der a-priori-Kontraste näher untersucht.

Zunächst wurden die Kontraste für die relevante Dimension Wortbedeutung betrachtet (Tabelle 21).

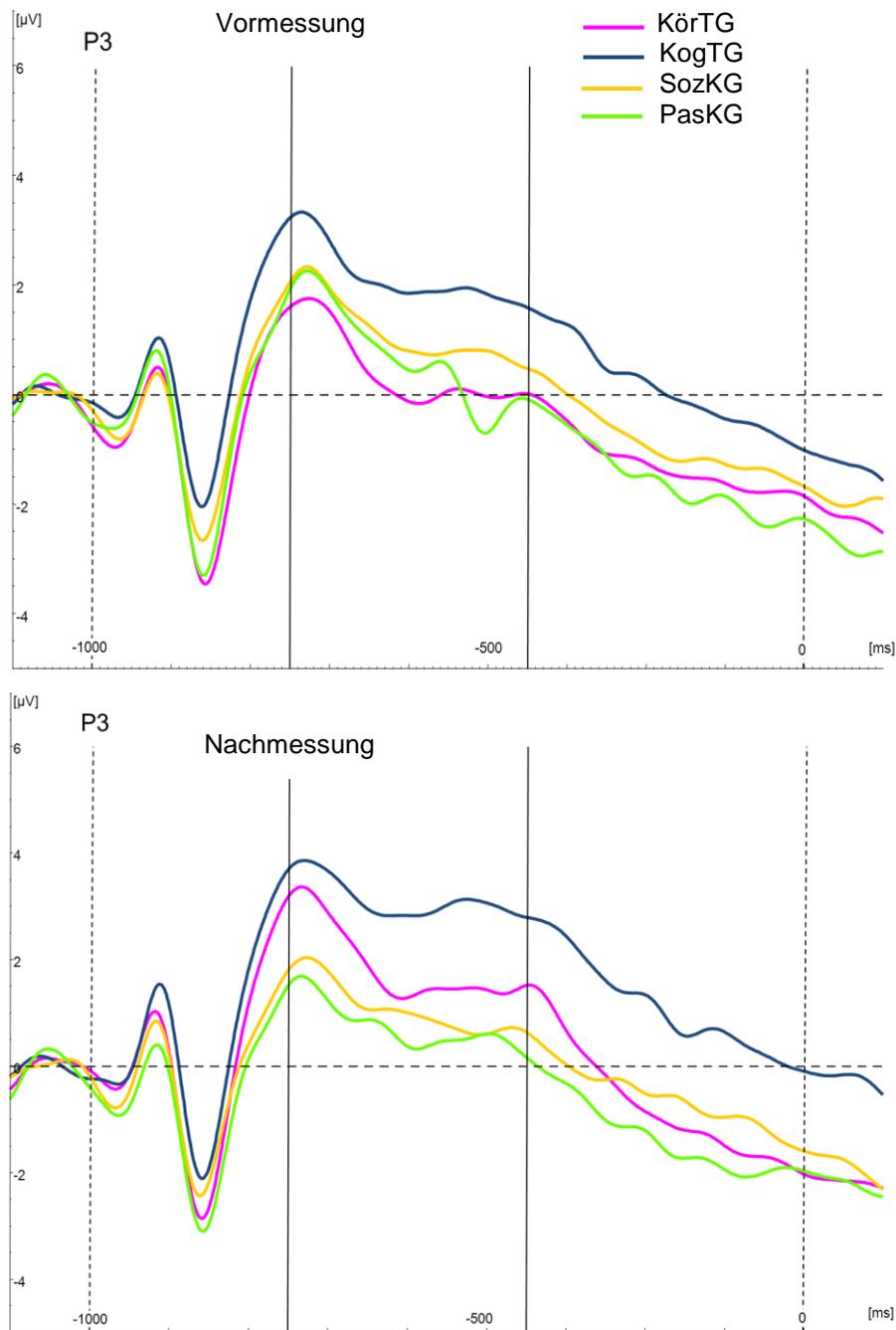
Es zeigten sich lediglich an der Elektrode P3 signifikante Effekte. Die KörTG zeigte zum zweiten Messzeitpunkt eine höhere Amplitude der CueP3. Dieser Effekt wurde im Kontrast zu SozKG und PasKG signifikant, welche zum zweiten Messzeitpunkt eine niedrigere Amplitude zeigten (Tabelle 22). An der Elektrode P3 wurde außerdem der Kontrast zwischen den beiden Trainingsgruppen und den Kontrollgruppen signifikant. Die Trainingsgruppen zeigten nach dem Training eine höhere Amplitude, die Kontrollgruppen eine niedrigere Amplitude (Abbildung 31).

**Tabelle 21: CueP3** Tabellarische Übersicht über die Kontraste zwischen den Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG sowie Trainings- vs. Kontrollgruppen in der Bedingung Wortbedeutung des gemischten Blocks an frontalen (F3, Fz, F4), centralen (C3, Cz, C4) und parietalen (P3, Pz, P4) Elektroden. Aufgelistet sind T-Wert (*T*), Freiheitsgrade (*df*) und Irrtumswahrscheinlichkeit (*p*).

<b>Wortbedeutung</b>		<b>links</b>			<b>Mitte</b>			<b>rechts</b>		
<b>Kontrast</b>		<i>T</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	<i>T</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	<i>T</i>	<i>df</i>	<i>p</i>
<b>frontal</b>	KörTG vs. KogTG	0,10	131	.918	0,41	131	.681	0,07	131	.947
	KörTG vs. SozKG	-0,37	131	.715	-0,04	131	.972	-0,67	131	.506
	KörTG vs. PasKG	-0,58	131	.563	-0,18	131	.859	-0,25	131	.805
	KogTG vs. SozKG	-0,46	131	.643	-0,45	131	.656	-0,72	131	.470
	KogTG vs. PasKG	-0,68	131	.501	-0,59	131	.557	-0,31	131	.757
	SozKG vs. PasKG	-0,21	131	.834	-0,14	131	.887	0,43	131	.672
	Training vs. Kontrolle	-0,74	131	.462	-0,44	131	.658	-0,69	131	.491
<b>central</b>	KörTG vs. KogTG	0,10	131	.921	0,21	131	.833	0,65	131	.515
	KörTG vs. SozKG	-0,49	131	.624	0,35	131	.726	-0,21	131	.834
	KörTG vs. PasKG	-0,51	131	.608	0,01	131	.996	-0,54	131	.592
	KogTG vs. SozKG	-0,58	131	.560	0,14	131	.893	-0,86	131	.391
	KogTG vs. PasKG	-0,61	131	.545	-0,21	131	.836	-1,19	131	.238
	SozKG vs. PasKG	-0,02	131	.985	-0,35	131	.728	-0,33	131	.746
	Training vs. Kontrolle	-0,78	131	.439	0,10	131	.920	-0,99	131	.324
<b>parietal</b>	KörTG vs. KogTG	-0,64	131	.524	-1,10	131	.273	0,41	131	.685
	KörTG vs. SozKG	-2,17	131	.031	-1,11	131	.268	-1,30	131	.196
	KörTG vs. PasKG	-2,03	131	.044	-1,27	131	.205	-0,53	131	.596
	KogTG vs. SozKG	-1,50	131	.136	0,01	131	.996	-1,69	131	.094
	KogTG vs. PasKG	-1,35	131	.178	-0,15	131	.885	-0,93	131	.353
	SozKG vs. PasKG	0,16	131	.873	-0,15	131	.879	0,78	131	.438
	Training vs. Kontrolle	-2,49	131	.014	-0,89	131	.377	-1,58	131	.117

**Tabelle 22: CueP3** Tabellarische Übersicht über die mittleren Amplituden in  $\mu\text{V}$  der Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG in der Bedingung Wortbedeutung des gemischten Blocks an frontalen (F3, Fz, F4), centralen (C3, Cz, C4) und parietalen (P3, Pz, P4) Elektroden zum ersten und zweiten Messzeitpunkt.

<u>Wortbedeutung</u> Gruppe	links		Mitte		rechts		
	Vor- messung	Nach- messung	Vor- messung	Nach- messung	Vor- messung	Nach- messung	
<b>frontal</b>	KörTG	1,72	2,71	1,79	2,68	1,97	3,18
	KogTG	2,90	4,01	2,55	3,90	3,23	4,51
	SozKG	1,19	1,80	0,62	1,46	1,44	1,95
	PasKG	1,59	1,98	1,56	2,25	2,09	3,04
	Gesamt	1,83	2,60	1,61	2,55	2,17	3,15
<b>central</b>	KörTG	1,40	2,27	1,20	1,84	1,69	2,39
	KogTG	2,61	3,57	2,53	3,36	2,91	4,13
	SozKG	1,03	1,46	0,41	1,37	1,35	1,89
	PasKG	1,35	1,76	0,96	1,60	1,51	1,80
	Gesamt	1,58	2,24	1,26	2,02	1,85	2,53
<b>parietal</b>	KörTG	0,43	1,89	0,60	2,00	0,67	1,51
	KogTG	2,14	3,15	2,45	2,92	1,94	3,07
	SozKG	1,15	1,08	0,88	1,35	1,16	1,06
	PasKG	0,71	0,76	1,13	1,47	0,74	1,19
	Gesamt	1,09	1,69	1,25	1,92	1,11	1,69



**Abbildung 31: CueP3**, Hinweisreizbezogene gemittelte Grand Averages der Gruppen KörTG (magenta), KogTG (blau), SozKG (gelb) und PasKG (grün) zum Zeitpunkt der ersten Messung (oben) und zweiten Messung (unten) für die relevante Dimension **Wortbedeutung im gemischten Block** abgeleitet an der Elektrode P3. Der Nullpunkt auf der Abszisse indiziert den Zeitpunkt der Reizdarbietung, die gestrichelte Linie bei -1000 ms indiziert den Zeitpunkt der Darbietung des Hinweisreizes. Die CueP3 wurde im Bereich -750 bis -450 ms (250-550 ms nach Hinweisreizdarbietung) berechnet. Die vertikalen Linien, welche die Abszisse bei -750 und -450 ms schneiden, markieren den Berechnungszeitraum.

Für die relevante Dimension Farbe zeigte sich Folgendes:

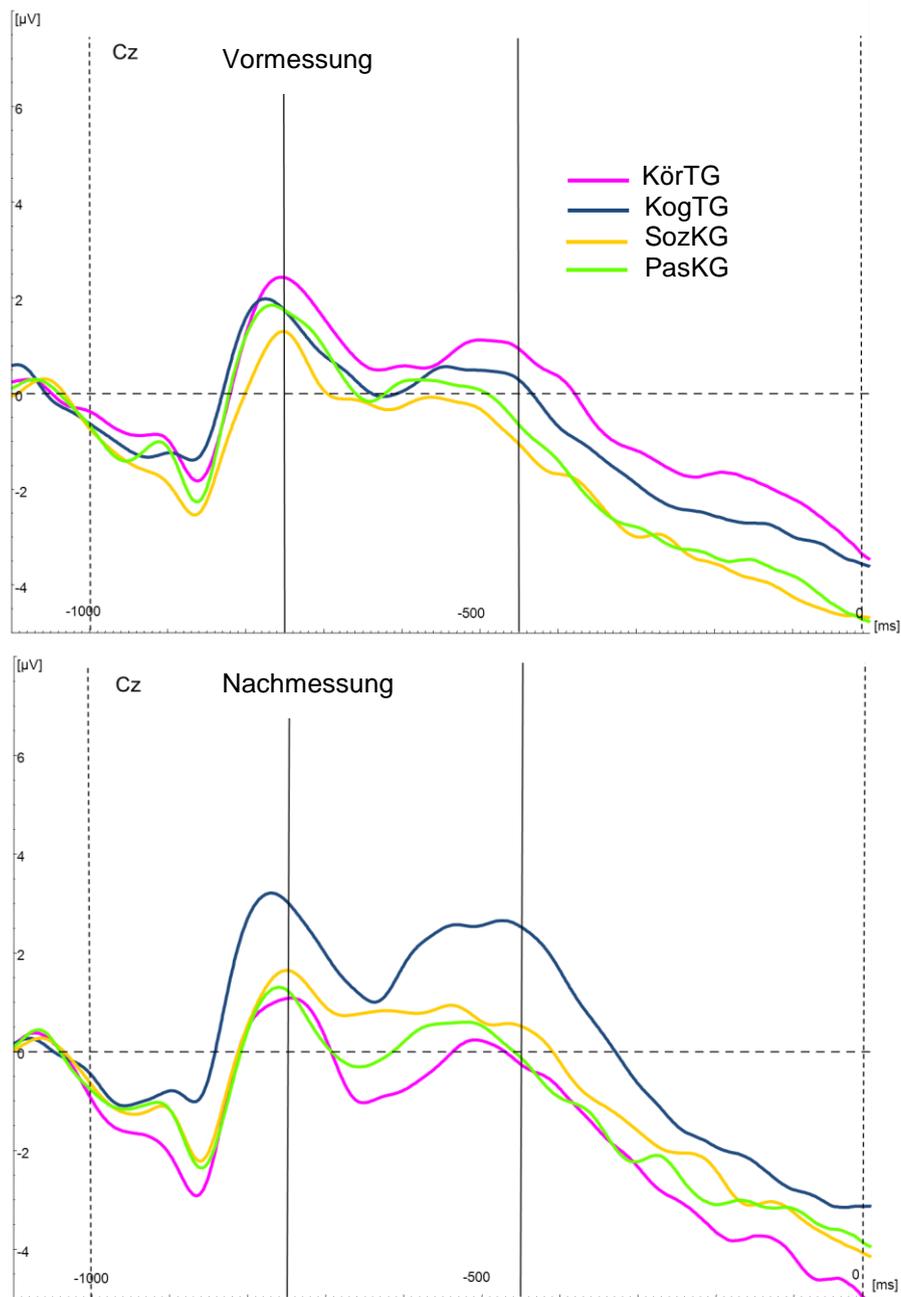
Es ergab sich ein (tendenziell) signifikanter Unterschied zwischen KörTG und KogTG an Fz, den centralen und parietalen Elektroden (Tabelle 23). Die KogTG zeigte nach zum zweiten Messzeitpunkt eine höhere CueP3. Anders die KörTG, diese zeigte in der Nachmessung eine niedrigere Amplitude der CueP3 (Tabelle 24).

Die SozKG zeigte in der Nachmessung ebenfalls eine höhere Amplitude, der Unterschied zur KörTG wurde an Fz sowie an den centralen Elektroden (tendenziell) signifikant.

Genau wie die KörTG zeigte auch die PasKG eine niedrigere Amplitude zum Zeitpunkt der zweiten Messung. Der Unterschied zur KogTG wurde an Cz, P3 und P4 (tendenziell) signifikant (Abbildung 32).

**Tabelle 23: CueP3**, Tabellarische Übersicht über die Kontraste zwischen den Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG sowie Trainings- vs. Kontrollgruppen in der Bedingung Farbe des gemischten Blocks an frontalen (F3, Fz, F4), centralen (C3, Cz, C4) und parietalen (P3, Pz, P4) Elektroden. Aufgelistet sind T-Wert (*T*), Freiheitsgrade (*df*) und Irrtumswahrscheinlichkeit (*p*).

<b>Farbe</b>		<b>links</b>			<b>Mitte</b>			<b>rechts</b>		
<b>Kontrast</b>		<i>T</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	<i>T</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	<i>T</i>	<i>df</i>	<i>p</i>
<b>frontal</b>	KörTG vs. KogTG	1,47	61	.146	2,56	131	.011	1,63	131	.106
	KörTG vs. SozKG	1,66	50	.102	1,89	131	.062	1,64	131	.104
	KörTG vs. PasKG	0,21	64	.833	0,99	131	.323	0,68	131	.496
	KogTG vs. SozKG	0,03	56	.975	-0,71	131	.481	-0,01	131	.990
	KogTG vs. PasKG	-1,41	65	.164	-1,61	131	.111	-0,97	131	.336
	SozKG vs. PasKG	-1,64	58	.106	-0,91	131	.366	-0,97	131	.336
	Training vs. Kontrolle	0,19	113	.850	0,19	131	.852	0,47	131	.641
<b>central</b>	KörTG vs. KogTG	1,87	131	.064	3,02	131	.003	2,53	131	.013
	KörTG vs. SozKG	2,18	131	.031	2,35	131	.020	2,78	131	.006
	KörTG vs. PasKG	0,60	131	.552	1,27	131	.206	1,15	131	.254
	KogTG vs. SozKG	0,28	131	.783	-0,70	131	.485	0,21	131	.833
	KogTG vs. PasKG	-1,30	131	.197	-1,78	131	.077	-1,42	131	.159
	SozKG vs. PasKG	-1,60	131	.112	-1,10	131	.275	-1,66	131	.100
	Training vs. Kontrolle	0,62	131	.540	0,39	131	.698	0,95	131	.342
<b>parietal</b>	KörTG vs. KogTG	2,17	131	.032	2,17	131	.032	2,05	131	.043
	KörTG vs. SozKG	1,25	131	.213	1,45	131	.150	1,08	131	.281
	KörTG vs. PasKG	-0,11	131	.913	0,88	131	.382	-0,03	131	.975
	KogTG vs. SozKG	-0,94	131	.350	-0,74	131	.461	-0,98	131	.329
	KogTG vs. PasKG	-2,30	131	.023	-1,32	131	.190	-2,09	131	.038
	SozKG vs. PasKG	-1,37	131	.173	-0,58	131	.562	-1,12	131	.264
	Training vs. Kontrolle	-0,75	131	.456	0,08	131	.933	-0,72	131	.471



**Abbildung 32: CueP3**, Hinweisreizbezogene gemittelte Grand Averages der Gruppen KörTG (magenta), KogTG (blau), SozKG (gelb) und PasKG (grün) zum Zeitpunkt der ersten Messung (oben) und zweiten Messung (unten) für die relevante Dimension Farbe im gemischten Block abgeleitet an der Elektrode Cz. Der Nullpunkt auf der Abszisse indiziert den Zeitpunkt der Reizdarbietung, die gestrichelte Linie bei -1000 ms indiziert den Zeitpunkt der Darbietung des Hinweisreizes. Die CueP3 wurde im Bereich -750 bis -450 ms (250-550 ms nach Hinweisreizdarbietung) berechnet. Die vertikalen Linien, welche die Abszisse bei -750 und -450 ms schneiden, markieren den Berechnungszeitraum.

**Tabelle 24: CueP3** Tabellarische Übersicht über die mittleren Amplituden in  $\mu\text{V}$  der Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG in der Bedingung Farbe des gemischten Blocks an frontalen (F3, Fz, F4), centralen (C3, Cz, C4) und parietalen (P3, Pz, P4) Elektroden zum ersten und zweiten Messzeitpunkt.

<u>Farbe</u>	Gruppe	links		Mitte		rechts	
		Vor-messung	Nach-messung	Vor-messung	Nach-messung	Vor-messung	Nach-messung
frontal	KörTG	0,98	0,05	1,40	0,12	1,68	0,60
	KogTG	1,26	2,06	0,78	2,11	1,65	2,25
	SozKG	0,51	1,34	0,37	0,99	0,76	1,34
	PasKG	1,01	0,34	0,62	0,33	1,63	1,24
	Gesamt	0,93	0,93	0,79	0,86	1,43	1,34
central	KörTG	1,46	0,71	1,03	-0,17	1,80	0,63
	KogTG	1,17	2,09	0,49	2,09	1,71	2,61
	SozKG	0,51	1,67	-0,11	0,84	0,52	1,60
	PasKG	0,94	0,71	0,32	0,27	1,20	0,95
	Gesamt	1,01	1,28	0,43	0,74	1,30	1,43
parietal	KörTG	1,52	0,92	1,66	0,86	1,42	1,13
	KogTG	1,59	2,56	1,56	2,65	1,80	3,12
	SozKG	1,55	1,84	1,51	1,96	1,35	1,90
	PasKG	1,38	0,70	1,51	1,46	1,49	1,18
	Gesamt	1,51	1,48	1,56	1,72	1,51	1,81

### Aufgabenabfolge und Topografie

Es wurde eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Messzeitpunkt, Aufgabenabfolge, Lateralität und Anteriorität und dem Zwischensubjektfaktor Gruppe durchgeführt.

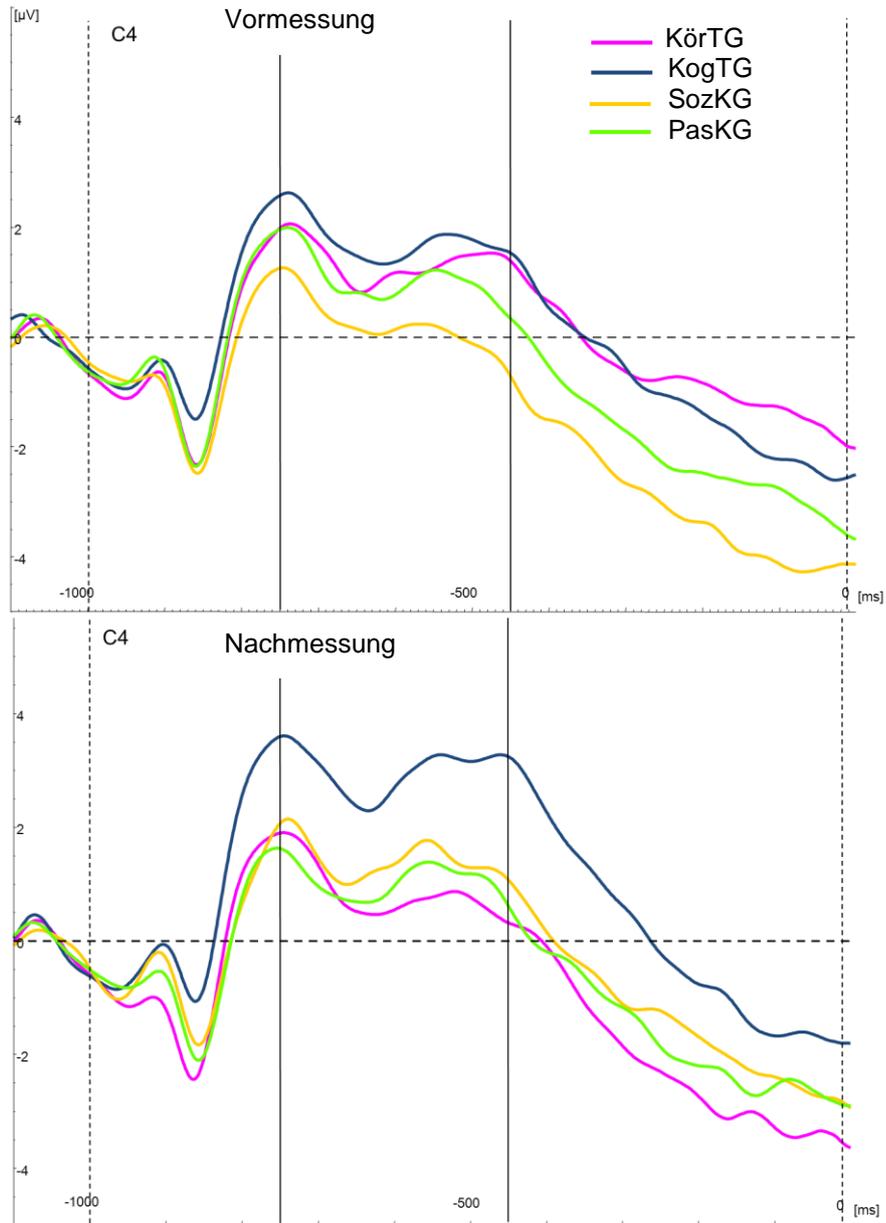
In dieser Analyse wurde lediglich der Effekt des Messzeitpunktes signifikant  $F(1, 131) = 4.46$ ,  $p = .037$ . Es zeigten sich keine weiteren Effekte oder Interaktionen bezogen auf Messzeitpunkt oder Gruppe.

Die Analyse der a-priori-Kontraste lieferte folgende Ergebnisse:

Für die Aufgabenwiederholungen des gemischten Blocks zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen KörTG und KogTG sowie KörTG und SozKG an den Elektroden Cz und C4 (siehe Tabelle 25). Während die KörTG zum zweiten Messzeitpunkt eine niedrigere Amplitude zeigte, zeigten die KogTG und die SozKG eine höhere Amplitude (siehe Tabelle 26 und Abbildung 33).

**Tabelle 25: CueP3** Tabellarische Übersicht über die Kontraste zwischen den Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG sowie Trainings- vs. Kontrollgruppen in der Bedingung Aufgabenwiederholung des gemischten Blocks an frontalen (F3, Fz, F4), centralen (C3, Cz, C4) und parietalen (P3, Pz, P4) Elektroden. Aufgelistet sind T-Wert (*T*), Freiheitsgrade (*df*) und Irrtumswahrscheinlichkeit (*p*).

<u>Wiederholung</u>	Kontrast	links			Mitte			rechts		
		<i>T</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	<i>T</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	<i>T</i>	<i>df</i>	<i>p</i>
frontal	KörTG vs. KogTG	1,24	131	.219	1,85	131	.067	1,53	131	.130
	KörTG vs. SozKG	1,52	131	.130	1,06	131	.291	0,97	131	.336
	KörTG vs. PasKG	0,59	131	.557	0,55	131	.585	0,53	131	.599
	KogTG vs. SozKG	0,27	131	.791	-0,80	131	.423	-0,57	131	.567
	KogTG vs. PasKG	-0,66	131	.508	-1,32	131	.188	-1,02	131	.311
	SozKG vs. PasKG	-0,95	131	.346	-0,52	131	.603	-0,45	131	.657
	Training vs. Kontrolle	0,60	131	.549	-0,19	131	.847	-0,04	131	.967
central	KörTG vs. KogTG	1,28	131	.201	2,14	56	.037	2,41	131	.017
	KörTG vs. SozKG	1,64	131	.103	2,16	55	.035	2,41	131	.017
	KörTG vs. PasKG	0,37	131	.711	0,70	67	.485	0,76	131	.448
	KogTG vs. SozKG	0,33	131	.740	-0,02	63	.981	-0,04	131	.965
	KogTG vs. PasKG	-0,93	131	.356	-1,39	59	.170	-1,68	131	.095
	SozKG vs. PasKG	-1,28	131	.202	-1,40	58	.168	-1,66	131	.099
	Training vs. Kontrolle	0,50	131	.620	0,58	114	.566	0,50	131	.617
parietal	KörTG vs. KogTG	0,77	64	.445	0,65	62	.516	1,78	62	.080
	KörTG vs. SozKG	-0,04	54	.971	0,75	49	.457	0,53	49	.598
	KörTG vs. PasKG	-0,92	58	.361	0,05	65	.957	-0,16	67	.870
	KogTG vs. SozKG	-1,00	54	.323	0,00	53	.999	-1,79	52	.080
	KogTG vs. PasKG	-1,90	59	.062	-0,66	65	.514	-1,89	62	.063
	SozKG vs. PasKG	-1,19	66	.240	-0,78	56	.439	-0,71	48	.483
	Training vs. Kontrolle	-1,35	112	.179	0,04	113	.966	-1,11	110	.271



**Abbildung 33:** CueP3 Hinweisreizbezogene gemittelte Grand Averages der Gruppen KörTG (magenta), KogTG (blau), SozKG (gelb) und PasKG (grün) zum Zeitpunkt der ersten Messung (oben) und zweiten Messung (unten) für **Aufgabenwiederholungen im gemischten Block** abgeleitet an der Elektrode C4. Der Nullpunkt auf der Abszisse indiziert den Zeitpunkt der Reizdarbietung, die gestrichelte Linie bei -1000 ms indiziert den Zeitpunkt der Darbietung des Hinweisreizes. Die CueP3 wurde im Bereich -750 bis -450 ms (250-550 ms nach Hinweisreizdarbietung) berechnet. Die vertikalen Linien, welche die Abszisse bei -750 und -450 ms schneiden, markieren den Berechnungszeitraum.

**Tabelle 26: CueP3** Tabellarische Übersicht über die mittleren Amplituden in  $\mu\text{V}$  der Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG in der Bedingung Aufgabenwiederholung des gemischten Blocks an frontalen (F3, Fz, F4), centralen (C3, Cz, C4) und parietalen (P3, Pz, P4) Elektroden zum ersten und zweiten Messzeitpunkt.

<u>Wiederholung</u>		links		Mitte		rechts	
Gruppe		Vor- messung	Nach- messung	Vor- messung	Nach- messung	Vor- messung	Nach- messung
frontal	KörTG	0,83	0,43	0,96	0,68	1,39	1,34
	KogTG	1,64	2,45	1,09	2,58	1,97	3,32
	SozKG	0,12	1,19	0,16	0,88	0,53	1,36
	PasKG	0,85	1,02	0,78	1,01	1,53	1,95
	Gesamt	0,85	1,25	0,74	1,27	1,35	1,97
central	KörTG	0,68	0,49	0,46	-0,10	1,38	0,84
	KogTG	1,33	2,16	0,96	2,26	1,75	2,99
	SozKG	0,18	1,26	-0,36	0,92	0,21	1,42
	PasKG	0,82	0,91	0,23	0,37	1,04	1,05
	Gesamt	0,74	1,19	0,31	0,84	1,08	1,55
parietal	KörTG	0,26	0,53	0,48	0,74	0,66	0,71
	KogTG	1,42	2,30	1,49	2,28	1,34	2,59
	SozKG	0,81	1,05	0,62	1,40	0,77	1,13
	PasKG	0,74	0,34	0,87	1,17	0,84	0,77
	Gesamt	0,80	1,03	0,86	1,38	0,89	1,28

Für die Aufgabenwechsel des gemischten Blocks zeigten sich keine signifikanten Effekte.

#### 4.2.2.2 N2 Amplitude

##### Zusammenfassung

Für die Amplitude der N2 zeigte sich ein Haupteffekt des Messzeitpunktes. Zum Zeitpunkt der Nachmessung war die Amplitude insgesamt stärker ausgeprägt als zum Zeitpunkt der Vormessung.

Insgesamt ist zu bemerken, dass die Gruppenunterschiede zum Zeitpunkt der Nachmessung weniger stark waren als zum Zeitpunkt der Vormessung. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die SozKG zum Zeitpunkt der Vormessung eine mehr negative Amplitude aufwies als die anderen Gruppen. Der Unterschied (post-hoc-Test) wurde jedoch nicht signifikant.

Die Berechnung der a-priori-Kontraste zeigte an der Elektrode Fz eine stärkere N2 im einfachen Block Farbe bei kongruenten Reizen Trainingsgruppen im Vergleich zu den Kontrollgruppen.

Im gemischten Block zeigte sich der Effekt an den Elektroden Cz und Fz. Die Trainingsgruppen zeigten im Vergleich zur PasKG eine stärkere N2 nach dem Training.

Für inkongruente Reize zeigte sich hingegen nur für die KogTG eine stärkere N2 nach dem Training an Cz, der Vergleich zur PasKG wurde signifikant.

### **Einfache Blöcke**

Es wurde eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Messwiederholung, relevante Dimension, Kongruenz und Elektrode (Fz und Cz) sowie dem Zwischensubjektfaktor Gruppe durchgeführt.

Es zeigte sich ein signifikanter Effekt des Messzeitpunktes  $F(1,131) = 5.74$ ,  $p = .018$ . Zum Zeitpunkt der zweiten Messung war die mittlere Amplitude negativer ( $-0,2 \mu\text{V}$ ) als zum Zeitpunkt der ersten Messung ( $0,2 \mu\text{V}$ ).

Es zeigten sich keine weiteren Effekte oder Interaktionen des Messzeitpunktes oder der Gruppe.

Die Analyse der a-priori-Kontraste zeigte keine signifikanten Gruppenunterschiede in den Differenzen zwischen Vor- und Nachmessung für den einfachen Block Wortbedeutung.

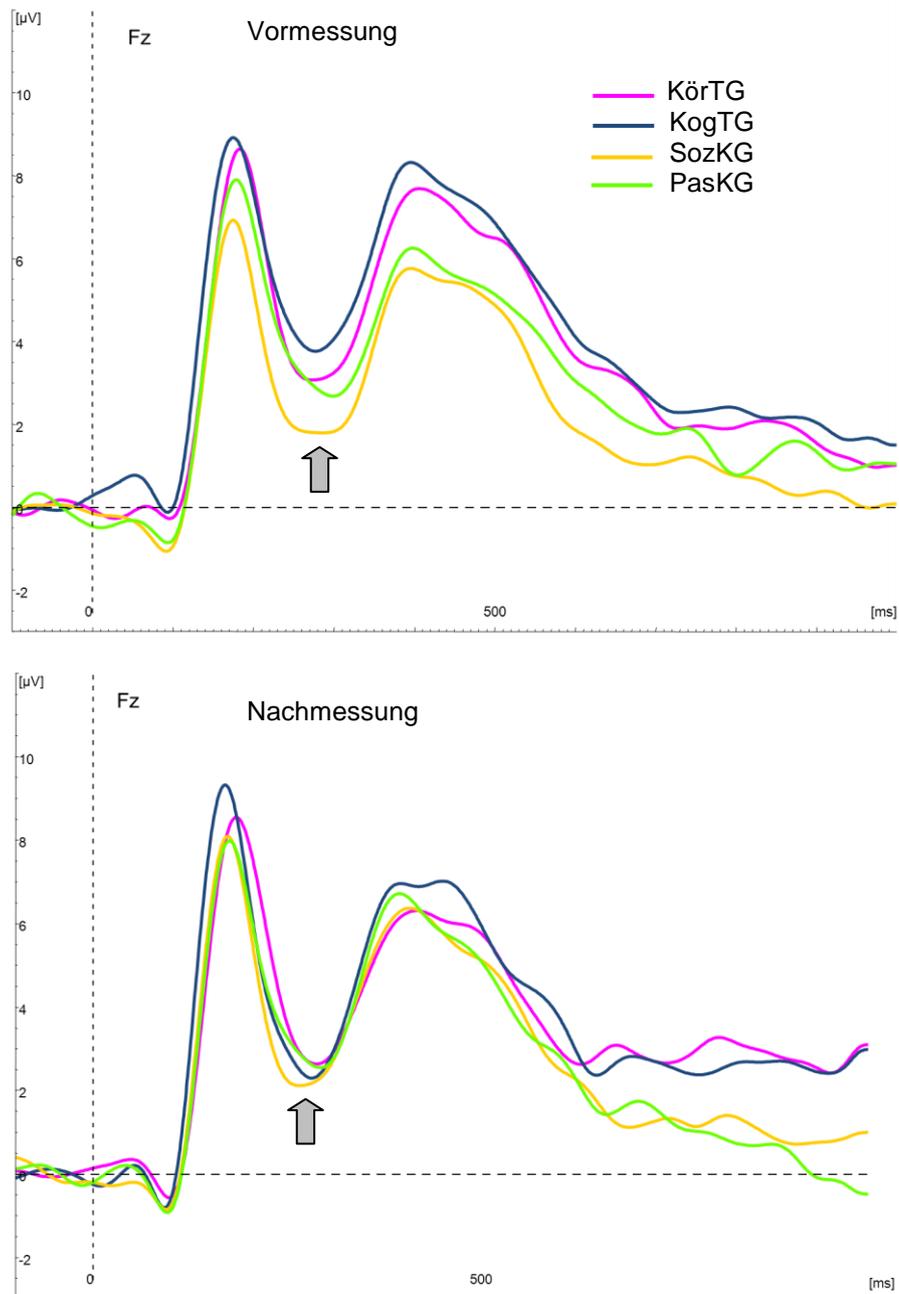
Für den einfachen Block Farbe zeigte die Analyse der a-priori-Kontraste hingegen einen signifikanten Unterschied zwischen KogTG und SozKG/PasKG sowie zwischen Trainings- und Kontrollgruppen für kongruente Reize an Fz (siehe Tabelle 27). Während die Trainingsgruppen eine ausgeprägtere N2 auf kongruente Reize zum zweiten Testzeitpunkt zeigte, wiesen die SozKG und die PasKG eine schwächere N2-Amplitude auf (siehe Tabelle 28). Jedoch waren die Unterschiede zwischen den Gruppen zum zweiten Testzeitpunkt kleiner als zum ersten Testzeitpunkt (siehe Abbildung 34).

**Tabelle 27: N2 Amplitude** Tabellarische Übersicht über die Kontraste zwischen den Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG sowie Trainings- vs. Kontrollgruppen im einfachen Block Farbe für kongruente und inkongruente Reize an den Elektroden Fz und Cz. Aufgelistet sind T-Wert ( $T$ ), Freiheitsgrade ( $df$ ) und Irrtumswahrscheinlichkeit ( $p$ ).

<b>Farbe</b>					
<b>Bedingung</b>	<b>Elektrode</b>	<b>Kontrast</b>	<b><math>T</math></b>	<b><math>df</math></b>	<b><math>p</math></b>
<b>kongruent</b>	<b>Fz</b>	KörTG vs. KogTG	-1,11	131	.268
		KörTG vs. SozKG	1,29	131	.198
		KörTG vs. PasKG	0,69	131	.492
		KogTG vs. SozKG	2,39	131	<b>.018</b>
		KogTG vs. PasKG	1,80	131	<b>.074</b>
		SozKG vs. PasKG	-0,61	131	.541
		Training vs. Kontrolle	2,19	131	<b>.030</b>
	<b>Cz</b>	KörTG vs. KogTG	-0,98	131	.329
		KörTG vs. SozKG	0,35	131	.731
		KörTG vs. PasKG	0,56	131	.577
		KogTG vs. SozKG	1,32	131	.189
		KogTG vs. PasKG	1,54	131	.127
		SozKG vs. PasKG	0,21	131	.832
		Training vs. Kontrolle	1,34	131	.184
<b>inkongruent</b>	<b>Fz</b>	KörTG vs. KogTG	0,22	131	.823
		KörTG vs. SozKG	-0,13	131	.894
		KörTG vs. PasKG	0,28	131	.784
		KogTG vs. SozKG	-0,36	131	.723
		KogTG vs. PasKG	0,05	131	.964
		SozKG vs. PasKG	0,41	131	.683
		Training vs. Kontrolle	-0,06	131	.951
	<b>Cz</b>	KörTG vs. KogTG	-0,03	131	.978
		KörTG vs. SozKG	-0,07	131	.942
		KörTG vs. PasKG	0,80	131	.427
		KogTG vs. SozKG	-0,04	131	.965
		KogTG vs. PasKG	0,81	131	.418
		SozKG vs. PasKG	0,87	131	.385
		Training vs. Kontrolle	0,53	131	.600

**Tabelle 28: N2 Amplitude** Tabellarische Übersicht über die mittleren Amplituden in  $\mu\text{V}$  der Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG für kongruente und inkongruente Reize des einfachen Blocks Farbe an den Elektroden Fz und Cz zum ersten und zweiten Messzeitpunkt.

<u>Farbe</u>				
Bedingung	Elektrode	Gruppe	Vor-messung	Nach-messung
kongruent	Fz	KörTG	1,30	0,75
		KogTG	2,10	0,56
		SozKG	-0,18	0,41
		PasKG	0,67	0,73
		Gesamt	0,95	0,61
	Cz	KörTG	0,75	0,67
		KogTG	0,19	-0,86
		SozKG	-0,67	-0,42
		PasKG	-0,26	0,20
		Gesamt	0,00	-0,09
inkongruent	Fz	KörTG	0,37	0,21
		KogTG	1,12	1,19
		SozKG	0,32	0,03
		PasKG	0,52	0,64
		Gesamt	0,57	0,51
	Cz	KörTG	-0,04	-0,38
		KogTG	-0,50	-0,86
		SozKG	-0,10	-0,51
		PasKG	-0,47	-0,02
		Gesamt	-0,28	-0,43



**Abbildung 34:** N2 Reizbezogene gemittelte Grand Averages der Gruppen KörTG (magenta), KogTG (blau), SozKG (gelb) und PasKG (grün) zum Zeitpunkt der ersten Messung (oben) und zweiten Messung (unten) für kongruente Reize im **einfachen Block Farbe** abgeleitet an der Elektrode Fz. Der Nullpunkt auf der Abszisse indiziert den Zeitpunkt der Reizdarbietung. Die Pfeile kennzeichnen die Peakamplitude der N2, welche als lokales Minimum im Bereich 200-400 ms nach Reizdarbietung berechnet wurde.

### Gemischter Block

Der Faktor relevante Dimension wurde nicht berücksichtigt, da aufgrund der hohen Fehlerrate die Anzahl der korrekten Durchgänge zu gering für eine separate Analyse war. Es wurde eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren

Messwiederholung, Kongruenz und Elektrode (Fz und Cz) sowie dem Zwischensubjektfaktor Gruppe durchgeführt.

Der Effekt des Messzeitpunktes war nur tendenziell signifikant  $F(1,131) = 3.59$ ,  $p = .060$ . Die mittlere Amplitude war zum Zeitpunkt der zweiten Messung niedriger ( $0,25 \mu\text{V}$ ) als zum Zeitpunkt der ersten Messung ( $0,72 \mu\text{V}$ ).

Es zeigten sich keine Interaktionen mit dem Messzeitpunkt oder der Gruppe.

**Tabelle 29: N2 Amplitude** Tabellarische Übersicht über die Kontraste zwischen den Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG sowie Trainings- vs. Kontrollgruppen im gemischten Block für kongruente und inkongruente Reize an den Elektroden Fz und Cz. Aufgelistet sind T-Wert ( $T$ ), Freiheitsgrade ( $df$ ) und Irrtumswahrscheinlichkeit ( $p$ ).

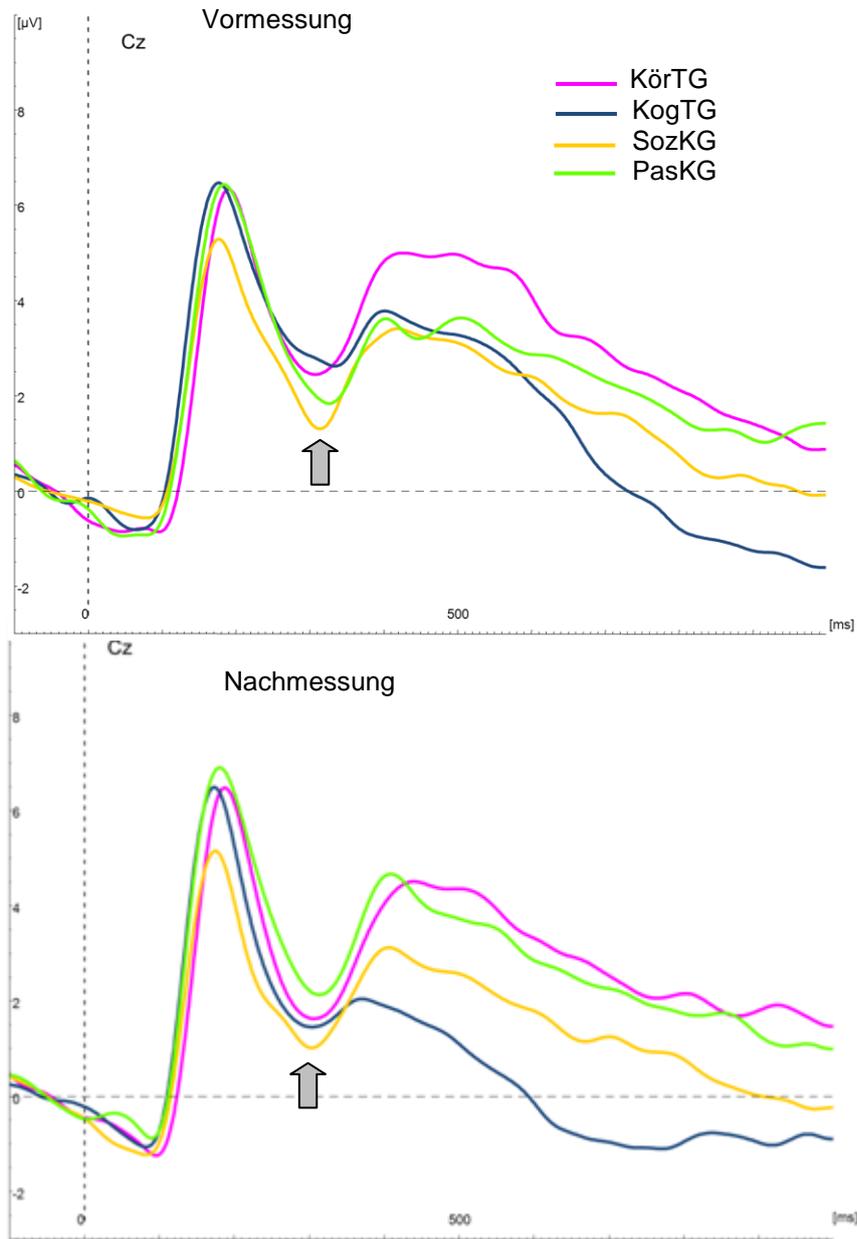
<b>gemischter Block</b>					
<b>Bedingung</b>	<b>Elektrode</b>	<b>Kontrast</b>	<b><math>T</math></b>	<b><math>df</math></b>	<b><math>p</math></b>
<b>kongruent</b>	<b>Fz</b>	KörTG vs. KogTG	0,76	131	.450
		KörTG vs. SozKG	0,19	131	.848
		KörTG vs. PasKG	1,07	131	.287
		KogTG vs. SozKG	-0,57	131	.571
		KogTG vs. PasKG	0,29	131	.772
		SozKG vs. PasKG	0,88	131	.382
		Training vs. Kontrolle	0,34	131	.733
	<b>Cz</b>	KörTG vs. KogTG	-0,57	131	.572
		KörTG vs. SozKG	0,62	131	.539
		KörTG vs. PasKG	2,01	131	<b>.046</b>
		KogTG vs. SozKG	1,17	131	.243
		KogTG vs. PasKG	2,55	131	<b>.012</b>
		SozKG vs. PasKG	1,39	131	.166
		Training vs. Kontrolle	2,25	131	<b>.026</b>
<b>inkongruent</b>	<b>Fz</b>	KörTG vs. KogTG	-0,70	131	.487
		KörTG vs. SozKG	0,12	131	.906
		KörTG vs. PasKG	-0,06	131	.949
		KogTG vs. SozKG	0,81	131	.418
		KogTG vs. PasKG	0,64	131	.524
		SozKG vs. PasKG	-0,18	131	.855
		Training vs. Kontrolle	0,54	131	.593
	<b>Cz</b>	KörTG vs. KogTG	-1,50	131	.135
		KörTG vs. SozKG	-0,66	131	.512
		KörTG vs. PasKG	0,52	131	.606
		KogTG vs. SozKG	0,86	131	.394
		KogTG vs. PasKG	2,02	131	<b>.045</b>
		SozKG vs. PasKG	1,18	131	.240
		Training vs. Kontrolle	0,97	131	.333

Die Analyse der a-priori-Kontraste der Differenzamplituden zwischen Vor- und Nachmessung ergab einen signifikanten Unterschied für kongruente Reize an der Elektrode Cz zwischen KörTG/KogTG und PasKG sowie zwischen den Trainings- und den Kontrollgruppen (Tabelle 29). Die Trainingsgruppen zeigten zum zweiten Messzeitpunkt eine stärker ausgeprägte N2, die PasKG zeigte eine schwächere N2 (Tabelle 30).

Für inkongruente Reize zeigte sich ein Unterschied der Differenzamplitude zwischen KogTG und PasKG an Cz. Die KogTG zeigte nach dem Training eine deutlich negativere N2-Amplitude (Abbildung 35).

**Tabelle 30: N2 Amplitude** Tabellarische Übersicht über die mittleren Amplituden in  $\mu\text{V}$  der Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG für kongruente und inkongruente Reize des gemischten Blocks an den Elektroden Fz und Cz zum ersten und zweiten Messzeitpunkt.

<b>gemischter Block</b>				
<b>Bedingung</b>	<b>Elektrode</b>	<b>Gruppe</b>	<b>Vor-messung</b>	<b>Nach-messung</b>
<b>kongruent</b>	<b>Fz</b>	KörTG	1,30	0,51
		KogTG	1,33	1,17
		SozKG	0,91	0,28
		PasKG	1,40	1,48
		Gesamt	1,23	0,86
	<b>Cz</b>	KörTG	0,94	0,09
		KogTG	0,88	-0,38
		SozKG	0,16	-0,24
		PasKG	0,64	1,23
		Gesamt	0,65	0,19
<b>inkongruent</b>	<b>Fz</b>	KörTG	0,76	0,37
		KogTG	2,14	0,98
		SozKG	-0,16	-0,42
		PasKG	0,90	0,44
		Gesamt	0,89	0,33
	<b>Cz</b>	KörTG	0,28	0,22
		KogTG	0,33	-1,17
		SozKG	-0,40	-1,08
		PasKG	0,16	0,58
		Gesamt	0,09	-0,34



**Abbildung 35:** N2 Reizbezogene gemittelte Grand Averages der Gruppen KörTG (magenta), KogTG (blau), SozKG (gelb) und PasKG (grün) zum Zeitpunkt der ersten Messung (oben) und zweiten Messung (unten) für **kongruente Reize im gemischten Block** abgeleitet an der Elektrode Cz. Der Nullpunkt auf der Abszisse indiziert den Zeitpunkt der Reizdarbietung. Die Pfeile kennzeichnen die Peakamplitude der N2, welche als lokales Minimum im Bereich 200-400 ms nach Reizdarbietung berechnet wurde.

#### 4.2.2.3 N2 Latenz

##### Zusammenfassung

Insgesamt zeigte sich kein Effekt des Messzeitpunktes für die Latenz der N2.

Für inkongruente Reize im einfachen Block Wortbedeutung zeigte sich eine niedrigere Latenz in der Nachmessung für die KogTG im Vergleich zur PasKG.

Anders bei kongruenten Reizen im einfachen Block Farbe. Hier war die Latenz der KogTG und der KörTG nach dem Training höher.

Bei kongruenten Reizen im gemischten Block zeigte die KogTG eine längere Latenz der N2 nach dem Training. Der Vergleich zur SozKG wurde signifikant.

### **Einfache Blöcke**

Es wurde eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Messwiederholung, relevante Dimension, Kongruenz und Elektrode (Fz und Cz) sowie dem Zwischensubjektfaktor Gruppe durchgeführt.

Es zeigte sich kein Effekt des Messzeitpunktes  $F(1,131) = .25$ ,  $p = .621$ . Es zeigten sich auch keine Interaktionen mit dem Messzeitpunkt oder der Gruppe.

Die Analyse der a-priori-Kontraste ergab einen signifikanten Unterschied der Differenzen zwischen Vor- und Nachmessung zwischen der KogTG und der PasKG für inkongruente Reize an Cz (Tabelle 31). Während die KogTG eine kürzere Latenz nach dem Training zeigte (-19 ms) war die Latenz der PasKG zum zweiten Messzeitpunkt etwas höher (4 ms, siehe Tabelle 32).

**Tabelle 31: N2 Latenz** Tabellarische Übersicht über die Kontraste zwischen den Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG sowie Trainings- vs. Kontrollgruppen im einfachen Block Wortbedeutung für kongruente und inkongruente Reize an den Elektroden Fz und Cz. Aufgelistet sind T-Wert (*T*), Freiheitsgrade (*df*) und Irrtumswahrscheinlichkeit (*p*).

<b>Wortbedeutung</b>					
<b>Bedingung</b>	<b>Elektrode</b>	<b>Kontrast</b>	<b><i>T</i></b>	<b><i>df</i></b>	<b><i>p</i></b>
<b>kongruent</b>	<b>Fz</b>	KörTG vs. KogTG	-0,10	131	.918
		KörTG vs. SozKG	0,37	131	.709
		KörTG vs. PasKG	-0,53	131	.598
		KogTG vs. SozKG	0,47	131	.638
		KogTG vs. PasKG	-0,42	131	.678
		SozKG vs. PasKG	-0,90	131	.367
		Training vs. Kontrolle	-0,03	131	.974
	<b>Cz</b>	KörTG vs. KogTG	0,51	131	.614
		KörTG vs. SozKG	-1,29	131	.200
		KörTG vs. PasKG	-0,60	131	.547
		KogTG vs. SozKG	-1,77	131	<b>.078</b>
		KogTG vs. PasKG	-1,10	131	.272
		SozKG vs. PasKG	0,70	131	.488
		Training vs. Kontrolle	-1,69	131	<b>.093</b>
<b>inkongruent</b>	<b>Fz</b>	KörTG vs. KogTG	-0,23	131	.820
		KörTG vs. SozKG	-0,53	131	.599
		KörTG vs. PasKG	-0,01	131	.990
		KogTG vs. SozKG	-0,29	131	.771
		KogTG vs. PasKG	0,22	131	.829
		SozKG vs. PasKG	0,52	131	.605
		Training vs. Kontrolle	-0,22	131	.828
	<b>Cz</b>	KörTG vs. KogTG	-1,92	61	<b>.060</b>
		KörTG vs. SozKG	-1,01	52	.318
		KörTG vs. PasKG	0,00	60	.997
		KogTG vs. SozKG	1,39	44	.171
		KogTG vs. PasKG	2,15	51	<b>.037</b>
		SozKG vs. PasKG	1,28	64	.206
		Training vs. Kontrolle	1,02	98	.308

**Tabelle 32: N2 Latenz** Tabellarische Übersicht über die mittleren Latenzen in ms der Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG für kongruente und inkongruente Reize des einfachen Blocks Wortbedeutung an den Elektroden Fz und Cz zum ersten und zweiten Messzeitpunkt.

<b>Wortbedeutung</b>				
<b>Bedingung</b>	<b>Elektrode</b>	<b>Gruppe</b>	<b>Vor-messung</b>	<b>Nach-messung</b>
<b>kongruent</b>	<b>Fz</b>	KörTG	292	292
		KogTG	280	279
		SozKG	278	282
		PasKG	287	282
		Gesamt	284	284
	<b>Cz</b>	KörTG	299	294
		KogTG	288	289
		SozKG	293	275
		PasKG	302	291
		Gesamt	295	287
<b>inkongruent</b>	<b>Fz</b>	KörTG	288	290
		KogTG	280	279
		SozKG	280	276
		PasKG	280	282
		Gesamt	282	282
	<b>Cz</b>	KörTG	291	295
		KogTG	296	277
		SozKG	281	276
		PasKG	291	295
		Gesamt	290	286

Die Analyse der a-priori-Kontraste im einfachen Block Farbe ergab einen (tendenziell) signifikanten Unterschied der Differenzwerte zwischen KörTG und PasKG, KogTG und PasKG sowie zwischen den Trainings- und Kontrollgruppen für kongruente Reize an Fz (siehe Tabelle 33). Die Trainingsgruppen zeigten nach dem Training eine etwas höhere Latenz der N2 als nach dem Training, wohingegen die Latenz der SozKG gleich blieb und die Latenz der PasKG etwas niedriger war (siehe Tabelle 34 und Abbildung 34).

**Tabelle 33: N2 Latenz** Tabellarische Übersicht über die Kontraste zwischen den Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG sowie Trainings- vs. Kontrollgruppen im einfachen Block Farbe für kongruente und inkongruente Reize an den Elektroden Fz und Cz. Aufgelistet sind T-Wert ( $T$ ), Freiheitsgrade ( $df$ ) und Irrtumswahrscheinlichkeit ( $p$ ).

<b>Farbe</b>					
<b>Bedingung</b>	<b>Elektrode</b>	<b>Kontrast</b>	<b><math>T</math></b>	<b><math>df</math></b>	<b><math>p</math></b>
<b>kongruent</b>	<b>Fz</b>	KörTG vs. KogTG	-0,21	131	.832
		KörTG vs. SozKG	-0,90	131	.369
		KörTG vs. PasKG	-2,09	131	<b>.039</b>
		KogTG vs. SozKG	-0,68	131	.500
		KogTG vs. PasKG	-1,84	131	<b>.068</b>
		SozKG vs. PasKG	-1,18	131	.240
		Training vs. Kontrolle	-1,94	131	<b>.054</b>
	<b>Cz</b>	KörTG vs. KogTG	0,03	131	.973
		KörTG vs. SozKG	-0,94	131	.349
		KörTG vs. PasKG	-1,46	131	.147
		KogTG vs. SozKG	-0,96	131	.339
		KogTG vs. PasKG	-1,47	131	.144
		SozKG vs. PasKG	-0,51	131	.610
		Training vs. Kontrolle	-1,71	131	<b>.091</b>
<b>inkongruent</b>	<b>Fz</b>	KörTG vs. KogTG	-0,73	131	.467
		KörTG vs. SozKG	-0,49	131	.628
		KörTG vs. PasKG	-0,62	131	.538
		KogTG vs. SozKG	0,25	131	.801
		KogTG vs. PasKG	0,13	131	.899
		SozKG vs. PasKG	-0,13	131	.898
		Training vs. Kontrolle	-0,25	131	.802
	<b>Cz</b>	KörTG vs. KogTG	-1,36	131	.178
		KörTG vs. SozKG	-0,65	131	.516
		KörTG vs. PasKG	-1,53	131	.128
		KogTG vs. SozKG	0,71	131	.477
		KogTG vs. PasKG	-0,15	131	.885
		SozKG vs. PasKG	-0,88	131	.382
		Training vs. Kontrolle	-0,56	131	.575

**Tabelle 34: N2 Latenz** Tabellarische Übersicht über die mittleren Latenzen in ms der Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG für kongruente und inkongruente Reize des einfachen Blocks Farbe an den Elektroden Fz und Cz zum ersten und zweiten Messzeitpunkt.

<u>Farbe</u>				
Bedingung	Elektrode	Gruppe	Vor-messung	Nach-messung
kongruent	Fz	KörTG	285	293
		KogTG	274	280
		SozKG	273	273
		PasKG	288	276
		Gesamt	280	281
	Cz	KörTG	288	294
		KogTG	283	289
		SozKG	277	273
		PasKG	294	284
		Gesamt	285	285
inkongruent	Fz	KörTG	289	297
		KogTG	276	276
		SozKG	278	281
		PasKG	285	286
		Gesamt	282	285
	Cz	KörTG	285	297
		KogTG	289	286
		SozKG	277	282
		PasKG	300	295
		Gesamt	288	290

### Gemischter Block

Der Faktor relevante Dimension wurde nicht berücksichtigt, da aufgrund der hohen Fehlerrate die Anzahl der korrekten Durchgänge zu gering für eine separate Analyse war. Es wurde eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Messwiederholung, Kongruenz und Elektrode (Fz und Cz) sowie dem Zwischensubjektfaktor Gruppe durchgeführt.

Es zeigte sich kein signifikanter Effekt des Messzeitpunktes  $F(1,131) = 2.45$ ,  $p = .120$ . Es ergaben sich keine Interaktionen mit dem Messzeitpunkt oder der Gruppe.

Die Analyse der a-priori-Kontraste zeigte lediglich einen signifikanten Effekt für inkongruente Reize an Cz zwischen KogTG und SozKG (siehe Tabelle 35). Die KogTG zeigte nach dem Training eine höhere Latenz, die SozKG eine niedrigere Latenz (siehe Tabelle 36 und Abbildung 35).

**Tabelle 35: N2 Latenz** Tabellarische Übersicht über die Kontraste zwischen den Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG sowie Trainings- vs. Kontrollgruppen im gemischten Block für kongruente und inkongruente Reize an den Elektroden Fz und Cz. Aufgelistet sind T-Wert ( $T$ ), Freiheitsgrade ( $df$ ) und Irrtumswahrscheinlichkeit ( $p$ ).

<b>gemischter Block</b>					
<b>Bedingung</b>	<b>Elektrode</b>	<b>Kontrast</b>	<b><math>T</math></b>	<b><math>df</math></b>	<b><math>p</math></b>
<b>kongruent</b>	<b>Fz</b>	KörTG vs. KogTG	0,00	54	.997
		KörTG vs. SozKG	-0,49	61	.625
		KörTG vs. PasKG	0,10	62	.918
		KogTG vs. SozKG	-0,41	62	.684
		KogTG vs. PasKG	0,07	46	.942
		SozKG vs. PasKG	0,62	53	.540
		Training vs. Kontrolle	-0,29	104	.770
	<b>Cz</b>	KörTG vs. KogTG	0,75	131	.457
		KörTG vs. SozKG	-1,32	131	.189
		KörTG vs. PasKG	-0,10	131	.923
		KogTG vs. SozKG	-2,05	131	.043
		KogTG vs. PasKG	-0,85	131	.399
		SozKG vs. PasKG	1,23	131	.220
		Training vs. Kontrolle	-1,53	131	.128
<b>inkongruent</b>	<b>Fz</b>	KörTG vs. KogTG	1,05	131	.296
		KörTG vs. SozKG	1,67	131	.097
		KörTG vs. PasKG	0,20	131	.840
		KogTG vs. SozKG	0,60	131	.551
		KogTG vs. PasKG	-0,86	131	.393
		SozKG vs. PasKG	-1,48	131	.141
		Training vs. Kontrolle	0,57	131	.570
	<b>Cz</b>	KörTG vs. KogTG	0,73	131	.467
		KörTG vs. SozKG	-0,35	131	.725
		KörTG vs. PasKG	-0,37	131	.714
		KogTG vs. SozKG	-1,08	131	.284
		KogTG vs. PasKG	-1,10	131	.275
		SozKG vs. PasKG	-0,01	131	.990
		Training vs. Kontrolle	-1,03	131	.307

**Tabelle 36: N2 Latenz** Tabellarische Übersicht über die mittleren Latenzen in ms der Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG für kongruente und inkongruente Reize des gemischten Blocks an den Elektroden Fz und Cz zum ersten und zweiten Messzeitpunkt.

<b>gemischter Block</b>				
<b>Bedingung</b>	<b>Elektrode</b>	<b>Gruppe</b>	<b>Vor- messung</b>	<b>Nach- messung</b>
<b>kongruent</b>	<b>Fz</b>	KörTG	295,26	291,50
		KogTG	296,94	293,22
		SozKG	294,15	285,03
		PasKG	300,43	297,51
		Gesamt	296,72	291,84
	<b>Cz</b>	KörTG	303,15	298,00
		KogTG	296,78	300,66
		SozKG	301,85	281,00
		PasKG	311,09	304,80
		Gesamt	303,37	296,11
<b>inkongruent</b>	<b>Fz</b>	KörTG	310,03	294,56
		KogTG	292,62	289,63
		SozKG	290,09	294,21
		PasKG	307,74	294,63
		Gesamt	300,29	293,32
	<b>Cz</b>	KörTG	307,74	307,74
		KogTG	287,47	297,13
		SozKG	297,15	292,56
		PasKG	315,17	310,43
		Gesamt	302,19	302,10

#### 4.2.2.4 P3

##### Zusammenfassung

Für die mittlere Amplitude der P3 zeigte sich kein Haupteffekt des Messzeitpunktes und auch keine Interaktion von Messzeitpunkt und Aufgabenabfolge.

Die Analyse der a-priori-Kontraste zeigte für Aufgabenwiederholungen eine niedrigere Amplitude zum zweiten Messzeitpunkt in der KogTG und eine leicht höhere Amplitude zum zweiten Messzeitpunkt in der PasKG an der Elektrode Cz. Daher wurde der Vergleich der Differenzamplituden der beiden Gruppen signifikant.

Für Aufgabenwechsel zeigte sich hingegen eine deutlich niedrigere Amplitude der KogTG im Vergleich zu allen anderen Gruppen an der Elektrode Fz. Insgesamt zeigten die Trainingsgruppen nach dem Training eine niedrigere P3-Amplitude an den Elektroden F4 und Cz.

## Aufgabenabfolge und Topografie

Es wurde eine ANOVA mit den Innersubjektfaktoren Messzeitpunkt, Aufgabenabfolge, Lateralität und Anteriorität durchgeführt sowie dem Zwischensubjektfaktor Gruppe.

Durch den Messzeitpunkt oder die Gruppenzugehörigkeit ergaben sich keine signifikanten Haupteffekte.

**Tabelle 37: P3** Tabellarische Übersicht über die Kontraste zwischen den Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG sowie Trainings- vs. Kontrollgruppen bei Aufgabenwiederholungen des gemischten Blocks an frontalen (F3, Fz, F4), centralen (C3, Cz, C4) und parietalen (P3, Pz, P4) Elektroden. Aufgelistet sind T-Wert (*T*), Freiheitsgrade (*df*) und Irrtumswahrscheinlichkeit (*p*).

<u>Aufgabenwiederholung</u>		links			Mitte			rechts		
		<i>T</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	<i>T</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	<i>T</i>	<i>df</i>	<i>p</i>
<b>frontal</b>	KörTG vs. KogTG	0,43	131	.669	0,51	131	.610	0,84	131	.401
	KörTG vs. SozKG	0,08	131	.938	0,18	131	.857	0,21	131	.831
	KörTG vs. PasKG	0,81	131	.420	0,96	131	.341	1,43	131	.154
	KogTG vs. SozKG	-0,35	131	.726	-0,33	131	.739	-0,63	131	.528
	KogTG vs. PasKG	0,37	131	.715	0,43	131	.671	0,56	131	.575
	SozKG vs. PasKG	0,73	131	.466	0,77	131	.440	1,22	131	.225
	Training vs. Kontrolle	0,32	131	.753	0,43	131	.668	0,55	131	.583
<b>central</b>	KörTG vs. KogTG	-0,09	131	.925	-0,94	131	.352	1,12	131	.266
	KörTG vs. SozKG	0,00	131	.999	0,29	131	.773	0,45	131	.654
	KörTG vs. PasKG	0,12	131	.902	1,30	131	.197	1,76	131	.081
	KogTG vs. SozKG	0,09	131	.926	1,22	131	.225	-0,68	131	.501
	KogTG vs. PasKG	0,22	131	.829	2,22	131	.028	0,61	131	.544
	SozKG vs. PasKG	0,12	131	.901	1,00	131	.317	1,31	131	.193
	Training vs. Kontrolle	0,15	131	.879	1,78	131	.078	0,75	131	.456
<b>parietal</b>	KörTG vs. KogTG	1,11	131	.267	-0,39	131	.696	0,01	131	.990
	KörTG vs. SozKG	0,33	131	.742	-0,49	131	.622	-0,11	131	.915
	KörTG vs. PasKG	1,46	131	.146	0,77	131	.442	1,34	131	.181
	KogTG vs. SozKG	-0,79	131	.431	-0,09	131	.925	-0,12	131	.906
	KogTG vs. PasKG	0,32	131	.751	1,15	131	.251	1,31	131	.193
	SozKG vs. PasKG	1,13	131	.260	1,27	131	.207	1,45	131	.149
	Training vs. Kontrolle	0,46	131	.647	0,47	131	.638	0,86	131	.394

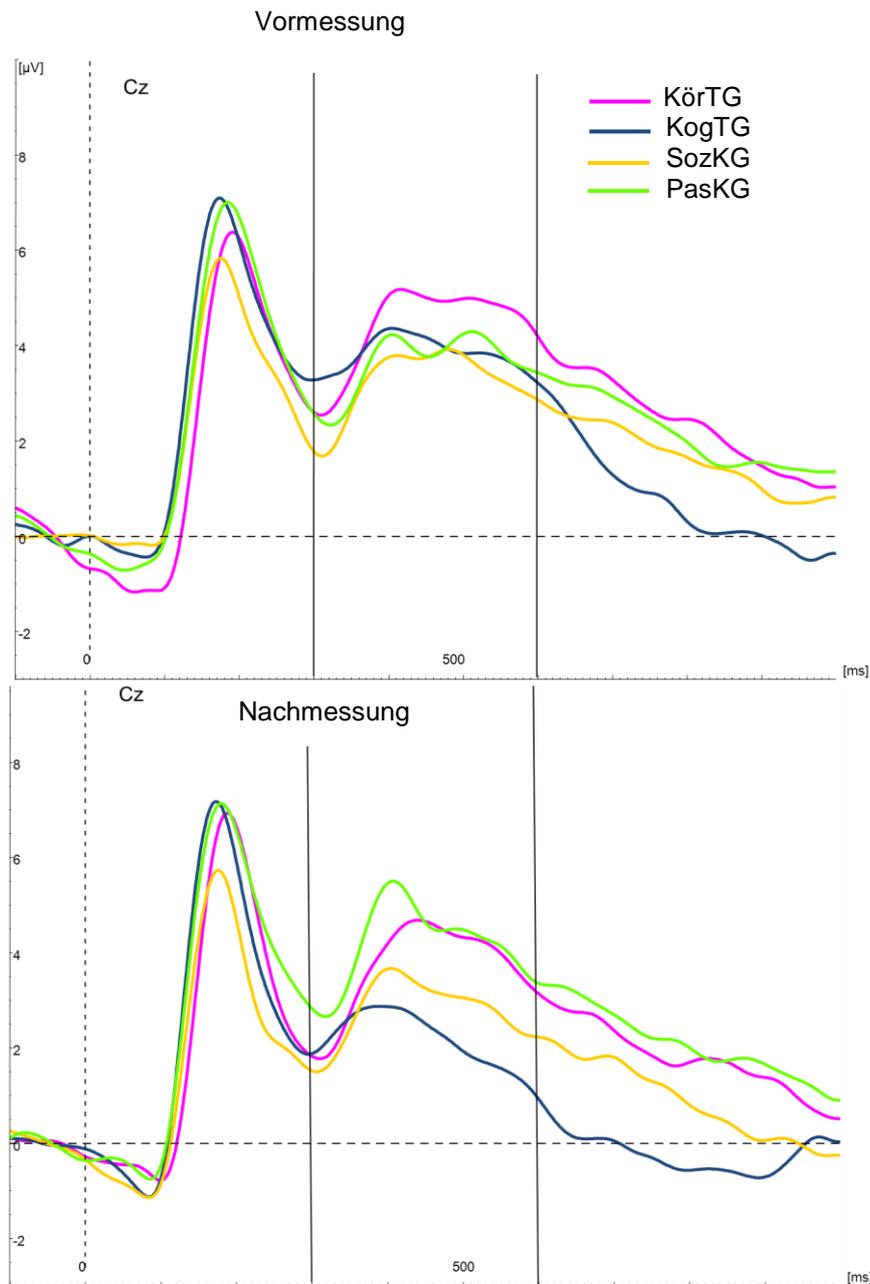
Die Analyse der a-priori-Kontraste zeigte folgendes: Für die Aufgabenwiederholungen des gemischten Blocks zeigte sich lediglich ein signifikanter Unterschied zwischen KogTG und PasKG an Cz (Tabelle 37). Während die mittlere Amplitude der KogTG in der Nachmessung niedriger war, war sie in der PasKG zum zweiten Messzeitpunkt etwas höher (Tabelle 38). Insgesamt zeigte sich ein tendenziell signifikanter Effekt an Cz im Vergleich der

Trainingsgruppen mit den Kontrollgruppen. Wobei alle Gruppen bis auf die PasKG eine niedrigere Amplitude zum zweiten Messzeitpunkt aufwiesen (siehe Abbildung 36).

Der Kontrast zwischen KörTG und PasKG wurde an C4 tendenziell signifikant. Auch hier zeigte die KörTG im Vergleich zur PasKG zum Zeitpunkt der zweiten Messung eine niedrigere Amplitude.

**Tabelle 38: P3** Tabellarische Übersicht über die mittleren Amplituden in  $\mu\text{V}$  in den Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG in Aufgabenwiederholungen des gemischten Blocks an frontalen (F3, Fz, F4), centralen (C3, Cz, C4) und parietalen (P3, Pz, P4) Elektroden zum ersten Messzeitpunkt und zweiten Messzeitpunkt.

<u>Aufgabenwiederholung</u>	Gruppe	links		Mitte		rechts	
		Vor-messung	Nach-messung	Vor-messung	Nach-messung	Vor-messung	Nach-messung
<b>frontal</b>	KörTG	4,60	3,84	5,02	4,07	5,44	4,48
	KogTG	4,42	4,10	4,64	4,22	4,99	4,92
	SozKG	3,72	3,03	3,98	3,21	4,56	3,82
	PasKG	3,98	4,04	4,21	4,24	4,82	5,35
	Gesamt	4,18	3,75	4,46	3,93	4,95	4,64
<b>central</b>	KörTG	4,74	4,16	4,45	3,73	5,42	4,33
	KogTG	3,71	3,04	3,84	2,18	3,95	3,96
	SozKG	3,72	3,13	3,25	2,81	4,22	3,57
	PasKG	4,45	3,98	3,64	4,19	4,22	4,82
	Gesamt	4,16	3,59	3,79	3,25	4,46	4,18
<b>parietal</b>	KörTG	5,76	4,79	4,97	5,00	5,26	4,88
	KogTG	3,35	3,35	3,91	3,54	3,74	3,38
	SozKG	4,43	3,74	4,42	3,96	4,85	4,38
	PasKG	5,40	5,67	4,93	5,71	5,30	6,11
	Gesamt	4,76	4,41	4,57	4,57	4,81	4,72



**Abbildung 36: P3**, Reizbezogene gemittelte Grand Averages der Gruppen KörTG (magenta), KogTG (blau), SozKG (gelb) und PasKG (grün) zum Zeitpunkt der ersten Messung (oben) und zweiten Messung (unten) für **Aufgabenwiederholungen im gemischten Block** abgeleitet an der Elektrode Cz. Der Nullpunkt auf der Abszisse indiziert den Zeitpunkt der Reizdarbietung. Die P3 wurde im Bereich 300 bis 600 ms berechnet. Die vertikalen Linien, welche die Abszisse bei 300 und 600 ms schneiden, markieren den Berechnungszeitraum.

Für die Durchgänge mit Aufgabenwechsel des gemischten Blocks zeigte sich, dass die KogTG in der Nachmessung eine niedrigere Amplitude als in der Vormessung aufwies. Dies zeigte sich im Vergleich zur KörTG, SozKG und PasKG an der Elektrode Fz (Abbildung 37), im Vergleich zu den beiden Kontrollgruppen an F4 und (tendenziell) an Cz (siehe Tabelle 39). An der

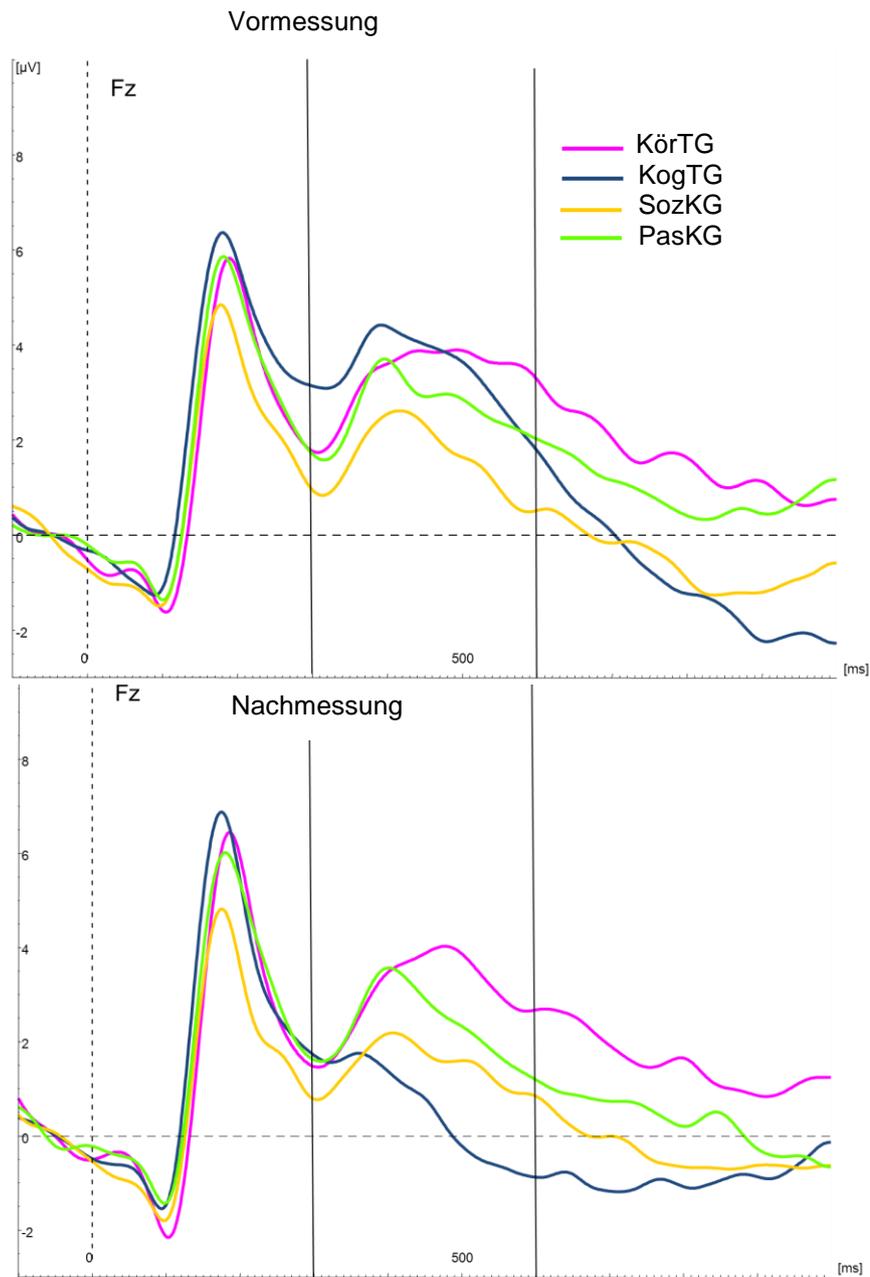
Elektrode P3 zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen SozKG und PasKG: Während die Amplitude der PasKG zum zweiten Messzeitpunkt höher war, zeigte die SozKG hier eine niedrigere Amplitude (Tabelle 40).

**Tabelle 39: P3** Tabellarische Übersicht über die Kontraste zwischen den Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG sowie Trainings- vs. Kontrollgruppen bei Aufgabenwechseln des gemischten Blocks an frontalen (F3, Fz, F4), centralen (C3, Cz, C4) und parietalen (P3, Pz, P4) Elektroden. Aufgelistet sind T-Wert (*T*), Freiheitsgrade (*df*) und Irrtumswahrscheinlichkeit (*p*).

<b>Aufgabenwechsel</b>		<b>links</b>			<b>Mitte</b>			<b>rechts</b>		
		<b><i>T</i></b>	<b><i>df</i></b>	<b><i>p</i></b>	<b><i>T</i></b>	<b><i>df</i></b>	<b><i>p</i></b>	<b><i>T</i></b>	<b><i>df</i></b>	<b><i>p</i></b>
<b>frontal</b>	KörTG vs. KogTG	-1,37	131	.172	-1,98	131	.050	-1,24	131	.219
	KörTG vs. SozKG	0,18	131	.859	0,13	131	.894	0,76	131	.451
	KörTG vs. PasKG	0,40	131	.692	0,00	131	.997	0,86	131	.389
	KogTG vs. SozKG	1,55	131	.124	2,11	131	.037	1,98	131	.050
	KogTG vs. PasKG	1,77	131	.078	1,99	131	.049	2,09	131	.038
	SozKG vs. PasKG	0,22	131	.828	-0,14	131	.890	0,10	131	.918
	Training vs. Kontrolle	1,39	131	.168	1,51	131	.135	2,02	131	.046
<b>central</b>	KörTG vs. KogTG	-0,64	131	.526	-1,62	131	.108	-0,95	131	.342
	KörTG vs. SozKG	0,57	131	.572	0,24	131	.814	0,04	131	.966
	KörTG vs. PasKG	0,80	131	.427	0,62	131	.534	0,76	131	.450
	KogTG vs. SozKG	1,20	131	.234	1,85	131	.067	1,00	131	.321
	KogTG vs. PasKG	1,43	131	.156	2,24	131	.027	1,71	131	.090
	SozKG vs. PasKG	0,23	131	.821	0,39	131	.700	0,72	131	.476
	Training vs. Kontrolle	1,41	131	.160	1,76	131	.081	1,24	131	.217
<b>parietal</b>	KörTG vs. KogTG	0,19	131	.852	-0,54	131	.591	-0,69	131	.491
	KörTG vs. SozKG	-0,72	131	.474	-0,62	131	.539	-0,37	131	.715
	KörTG vs. PasKG	1,32	131	.190	0,79	131	.432	0,66	131	.510
	KogTG vs. SozKG	-0,89	131	.373	-0,07	131	.946	0,33	131	.741
	KogTG vs. PasKG	1,11	131	.270	1,32	131	.189	1,35	131	.181
	SozKG vs. PasKG	2,04	131	.043	1,41	131	.161	1,03	131	.306
	Training vs. Kontrolle	0,28	131	.779	0,50	131	.616	0,70	131	.486

**Tabelle 40: P3** Tabellarische Übersicht über die mittleren Amplituden in  $\mu\text{V}$  in den Gruppen KörTG, KogTG, SozKG und PasKG in Aufgabenwechsellern des gemischten Blocks an frontalen (F3, Fz, F4), centralen (C3, Cz, C4) und parietalen (P3, Pz, P4) Elektroden zum ersten Messzeitpunkt und zweiten Messzeitpunkt.

<u>Aufgabenwechsel</u>		links		Mitte		rechts	
	Gruppe	Vor- messung	Nach- messung	Vor- messung	Nach- messung	Vor- messung	Nach- messung
<b>frontal</b>	KörTG	2,80	2,27	3,37	3,08	4,31	3,37
	KogTG	2,84	-0,03	3,48	0,56	4,27	1,87
	SozKG	0,81	0,57	1,60	1,49	2,35	2,29
	PasKG	2,28	2,41	2,65	2,36	3,80	3,86
	Gesamt	2,17	1,33	2,76	1,89	3,67	2,87
<b>central</b>	KörTG	3,56	2,69	3,41	3,17	4,14	3,49
	KogTG	2,08	0,56	2,10	0,00	3,07	1,26
	SozKG	1,26	0,97	1,12	1,16	2,24	1,65
	PasKG	2,55	2,49	1,92	2,38	3,30	3,56
	Gesamt	2,37	1,70	2,14	1,71	3,19	2,52
<b>parietal</b>	KörTG	4,57	4,01	3,87	3,93	4,29	4,30
	KogTG	1,80	1,44	2,18	1,65	2,67	2,01
	SozKG	3,05	1,77	2,57	1,96	2,99	2,66
	PasKG	3,44	4,21	3,06	3,96	3,99	4,63
	Gesamt	3,23	2,89	2,93	2,90	3,50	3,43



**Abbildung 37: P3**, Reizbezogene gemittelte Grand Averages der Gruppen KörTG (magenta), KogTG (blau), SozKG (gelb) und PasKG (grün) zum Zeitpunkt der ersten Messung (oben) und zweiten Messung (unten) für **Aufgabenwechsel im gemischten Block** abgeleitet an der Elektrode Fz. Der Nullpunkt auf der Abszisse indiziert den Zeitpunkt der Reizdarbietung. Die P3 wurde im Bereich 300 bis 600 ms berechnet. Die vertikalen Linien, welche die Abszisse bei 300 und 600 ms schneiden, markieren den Berechnungszeitraum.

## 4.3 Diskussion

### 4.3.1 Verhaltensdaten

Insgesamt zeigten alle Versuchspersonen verbesserte Leistungen gemessen durch die Fehlerrate und die Reaktionszeit beim zweiten Messzeitpunkt. Dies zeigte sich für inkongruente Reize im einfachen Block Farbe und im gemischten Block – hier im Speziellen für die nichtdominante Dimension Farbe – und für Aufgabenwechsel (nur Fehlerrate). Dieses Ergebnis zeigt, dass alle Versuchspersonen ihre Leistung im Vergleich zur vorangehenden Messung steigern konnten und ist als Übungs- oder Lerneffekt zu bewerten. Auch dieses Ergebnis spricht für die Anpassungs- und Lernfähigkeit Älterer.

Die KogTG zeigte im Vergleich zu allen anderen Gruppen einen größeren Reaktionszeitunterschied zwischen Vor- und Nachmessung im einfachen Block Farbe. Hier war die Verbesserung für inkongruente Reize im Vergleich zur PaskG und zur KörTG signifikant. In der vorangehenden Studie wurde für diese Bedingung eine höhere Reaktionszeit bei Älteren gefunden. Durch das kognitive Training konnte dieser Effekt (zumindest teilweise) umgekehrt werden.

Besonders die KogTG aber auch die KörTG konnten ihre Fehlerrate für inkongruente Reize im gemischten Block im Vergleich zu den Kontrollgruppen in höherem Ausmaß reduzieren. Die Fehlerrate für inkongruente Reize war in der vorangehenden Studie für Ältere im Vergleich zu Jüngeren höher gewesen. Auch hier bewirkten beide Arten von Training eine „Umkehr“ der Leistungseinbußen, wenngleich diese für die KogTG auch größer war: So zeigte nur die KogTG im Vergleich zur PaskG eine größere Verbesserung der Fehlerrate für *inkongruente* Reize in der Dimension Farbe. Der Unterschied zwischen Jüngeren und Älteren war in der Studie I in dieser Bedingung besonders hoch gewesen. Auch für die Aufgabenwiederholungen des gemischten Blocks zeigte sich nur eine Verbesserung der Fehlerrate der KogTG gegenüber der SozKG und der PaskG. Diese Verbesserung lässt sich dahingehend interpretieren, dass die KogTG die gesteigerte Arbeitsgedächtnisbelastung im gemischten Block nach dem Training besser bewältigen konnte als die anderen Gruppen. Auch für diese sogenannten Mischkosten hatte die vorangehende Studie einen größeren Unterschied zwischen Jüngeren und Älteren gefunden.

Bei Aufgabenwechseln des gemischten Blocks konnten beide Trainingsgruppen ihre *Fehlerrate* im Vergleich zu den Kontrollgruppen in größerem Maße senken. Der Vergleich zwischen Jüngeren und Älteren hatte hier nur eine gesteigerte *Reaktionszeit* von Älteren beim Aufgabenwechsel ergeben.

Insgesamt sind die Ergebnisse der Verhaltensdaten dahingehend zu bewerten, dass sowohl durch das körperliche Training eine Verbesserung der kognitiven Funktionen bei Älteren erzielt werden konnte. Die Verbesserungen in der KogTG sind dabei größer als die der KörTG. Die SozKG zeigte keine größeren Verbesserungen im Vergleich zu der PaskG. Das regelmäßige soziale Miteinander und die Durchführung von Entspannungsübungen scheint also keine Verbesserung der kognitiven Funktionen zur Folge zu haben.

Weiterhin lässt sich auch feststellen, dass die für die Studie gewählte Stroop-Switch-Aufgabe geeignet scheint, um Trainingserfolge – und damit auch Unterschiede zwischen den Trainings- und Kontrollgruppen - zu messen.

### **4.3.2 EKP**

Die Untersuchung der EKP in der kombinierten Stroop-Switch-Aufgabe hatte einen eher explorativen Charakter, da bisher keine Forschungsergebnisse in Zusammenhang mit körperlichem oder kognitivem Training vorlagen. Die Unterschiede des Differenzpotenzials ( $N_i$ ) waren so gering, dass sie nicht sinnvoll ausgewertet werden konnten, daher wurde sich auf die Auswertung der CueP3, der N2 und der P3 beschränkt.

#### **4.3.2.1 CueP3**

Im Intervall zwischen Hinweisreiz und Zielreiz des gemischten Blocks zeigten alle Gruppen insgesamt eine höhere Amplitude der CueP3 zum zweiten Messzeitpunkt. Dieser Befund lässt sich als eine bessere Vorbereitung auf die Aufgabe im Sinne des Abrufs der relevanten Aufgabenregeln oder Task-Set-Rekonfiguration interpretieren (Karayanidis et al., 2010). Die Trainingsgruppen – insbesondere die KörTG – zeigten eine höhere Amplitude der CueP3 in der Dimension Wortbedeutung. In der vorangehenden Studie hatten nur die Jüngeren einen Unterschied in der Amplitude der CueP3 abhängig von der relevanten Dimension gezeigt. War die relevante Dimension die Wortbedeutung,

so war ihre Amplitude höher. Möglicherweise lässt sich dieses Ergebnis als ein verbesserter Abruf der Aufgabenregeln für die dominante Dimension interpretieren. Wie bereits in der vorangehenden Studie für die Gruppe der Jüngeren als Erklärungsmodell herangezogen, könnte auch hier der „Deckeneffekt“ erklären, warum kein Korrelat in den Verhaltensdaten gefunden wurde. Die Reaktionszeit und Fehlerrate in dieser Bedingung war möglicherweise schon vor dem Training an der Obergrenze der Leistungsfähigkeit.

Für die Dimension Farbe zeigte sich eine Verbesserung hauptsächlich für die KogTG (an centralen und parietalen Elektroden), aber auch für die SozKG (an centralen Elektroden), nicht jedoch für die KörTG und die PaskG. Jedoch zeigten alle Gruppen (besonders aber die KogTG) nach dem Training eine verbesserte Fehlerrate und Reaktionszeit für inkongruente Reize der Dimension Farbe im gemischten Block. Möglicherweise wurde dies in der SozKG und der KogTG durch eine bessere Vorbereitung erreicht.

Für Aufgabenwiederholungen des gemischten Blocks zeigte sich ebenfalls für die KogTG und für die SozKG eine höhere Amplitude der CueP3 an centralen Elektroden. Auf Verhaltensebene zeigte sich jedoch nur für die KogTG eine verbesserte Fehlerrate im Vergleich zu den Kontrollgruppen für Aufgabenwiederholungen des gemischten Blocks.

Insgesamt zeigen alle Gruppen eine größere CueP3 zum zweiten Messzeitpunkt. Die KogTG konnte ihre Amplitude jedoch in den meisten Bedingungen und im größten Ausmaß steigern. Dies deckt sich mit den Befunden der Verhaltensdaten.

#### **4.3.2.2 N2**

Auch für die Amplitude der N2 zeigte sich ein signifikanter Effekt des Messzeitpunktes. Die Amplitude war zum Zeitpunkt der Nachmessung insgesamt stärker ausgeprägt. Die Trainingsgruppen zeigten im Vergleich zu den Kontrollgruppen eine höhere Amplitude bei kongruenten Reizen im einfachen Block Farbe und im gemischten Block. Es lässt sich kein Korrelat in den Verhaltensdaten finden, da die Verbesserungen hier für inkongruente Reize gefunden wurden.

Einzig folgendes Ergebnis deckt sich mit den Verhaltensdaten: Der Vergleich zwischen KogTG und PaskG für inkongruente Reize des gemischten Blocks wurde signifikant, die KogTG zeigte nach dem Training eine ausgeprägtere N2 Amplitude. Die N2 wird häufig in Zusammenhang mit der Interferenzverarbeitung interpretiert (Gajewski et al., 2010b, Rushworth et al., 2002), die entsteht, wenn die Task-Sets verschiedener Bedingungen sich überlappen. Eine höhere Amplitude nach dem Training könnte also ein Hinweis auf eine gesteigerte Verarbeitung in der konflikthafteren Bedingung in der KogTG sein, was in Verbindung mit besseren Leistungen der KogTG auf Verhaltensebene gebracht werden kann.

Die Amplitude der N2 war in allen Gruppen nach dem Training ausgeprägter. Die Gruppen konnten die Amplitude allerdings besonders bei kongruenten Reizen steigern, in dieser Bedingung ist der Konflikt durch überlappende Task-Sets geringer. Dies spricht dafür, dass die N2 generell kognitive Kontrolle widerspiegelt (siehe hierzu auch Folstein & Van Petten, 2008). Eine größere N2 bei kongruenten Reizen würde für eine stärkere Nutzung dieses Prozesses sprechen. Ein fehlendes Korrelat in den Verhaltensdaten ist möglicherweise so zu erklären, dass Reaktionszeit und Fehlerrate in dieser Bedingung auch vor dem Training schon sehr niedrig waren („Deckeneffekt“).

Für die Latenz der N2 zeigte sich im einfachen Block Wortbedeutung eine kürzere Latenz der KogTG im Vergleich zur PaskG. In der weniger konflikthafteren Bedingung ist der Prozess der Ausübung kognitiver Kontrolle der KogTG nach dem Training also beschleunigt. In Verbindung mit der höheren Amplitude ist möglicherweise insgesamt die Effizienz dieses Prozesses bei kongruenten Reizen durch das Training gesteigert worden.

Anders im einfachen Block Farbe. Hier zeigen die Trainingsgruppen nach dem Training eine höhere Latenz im Vergleich zu den Kontrollgruppen. Gleiches gilt für kongruente Reize im gemischten Block, hier zeigte die KogTG im Vergleich zur SozKG nach dem Training eine längere Latenz der N2. Eine Erhöhung der Latenz der N2 in den konflikthafteren Bedingungen spricht für eine Verlängerung des Prozesses der Interferenzverarbeitung. Dies ist möglicherweise eine kompensatorische Erhöhung der Verarbeitungszeit. Ein Korrelat in den Verhaltensdaten lässt sich jedoch nicht feststellen.

#### 4.3.2.3 P3

Für die P3 ergab sich anders als bei der CueP3 und der N2 kein Haupteffekt des Messzeitpunktes auf die mittlere Amplitude. Für Aufgabenwiederholungen zeigten sich nur schwache Effekte an Cz. Die KogTG zeigte nach dem Training eine etwas niedrigere Amplitude. Der Vergleich zur PaskG wurde nur signifikant, da diese zum zweiten Messzeitpunkt eine leicht höhere Amplitude aufwies.

Für Aufgabenwechsel hingegen zeigten sich deutliche Effekte der KogTG im Vergleich zu den anderen Gruppen an der Elektrode Fz. Die KogTG zeigte eine deutlich niedrigere Amplitude als die anderen Gruppen. An den Elektroden F4 und Cz wurde der Vergleich zwischen den Trainings- und den Kontrollgruppen signifikant: Die Trainingsgruppen – insbesondere die KogTG - zeigten nach dem Training eine deutlich niedrigere Amplitude als die Kontrollgruppen. Dies lässt sich gut mit den Ergebnissen der Verhaltensdaten in Einklang bringen, welche bei Aufgabenwechseln des gemischten Blocks eine größere Verbesserung der Fehlerrate bei Aufgabenwechseln für die Trainingsgruppen zeigten

Folgt man der Inhibitions-Hypothese von Polich (2007) könnte eine schwächere Amplitude der fronto(centralen) P3a nach dem Training darauf hindeuten, dass für die Inhibition der Aufmerksamkeits-Fokussierung auf den Reiz weniger Ressourcen benötigt werden. In der Folge müssen auch weniger Ressourcen bereitgestellt werden, um den Transfer der Informationen zu temporal-parietalen Arealen (P3b) zu gewährleisten. In der schwierigen Bedingung des Aufgabenwechsels können so mehr Ressourcen für andere Prozesse (Bewältigung proaktiver Interferenz) zur Verfügung gestellt werden.

Möglicherweise wird die P3 hier aber auch durch eine frontozentrale Negativierung überlagert (ähnlich wie die  $N_i$ , siehe Eppinger et al., 2007), welche Prozesse der Verarbeitung von proaktiver Interferenz widerspiegelt (siehe auch Karayanidis et al., 2011b). Da die  $N_i$  jedoch bei inkongruenten Reizen auftritt und parietal lokalisiert ist und somit Interferenz durch den Stimulus hervorgerufen wird, ist fraglich, ob die Negativierung durch den Aufgabenwechsel (proaktive Interferenz) den gleichen Prozess abbildet.

### 4.3.3 Integration der Ergebnisse und Beantwortung der Forschungsfragen

Insgesamt lässt sich festhalten, dass beide Trainingsgruppen im Vergleich zu den Kontrollgruppen zum Zeitpunkt der zweiten Messung bessere Leistungen zeigten, was einen Übungs- oder Lerneffekt darstellt. Jedoch konnten für die Teilnehmer des körperlichen und des kognitiven Trainings im Vergleich zu den Kontrollgruppenteilnehmern größere Verbesserungen festgestellt werden – vor allem bezogen auf die Fehlerrate. Durch das kognitive Training konnte zudem noch eine Verbesserung der Reaktionszeit erreicht werden.

Die KogTG zeigte in den einfachen Blöcken eine niedrigere RT bei inkongruenten Reizen und für die Dimension Farbe, beide Trainingsgruppen zeigten eine niedrigere Fehlerrate bei inkongruenten Reizen des gemischten Blocks, wobei die KogTG die größte Verbesserung zeigte.

Sowohl das kognitive als auch das körperliche Training haben also eine Verbesserung der kognitiven Funktionen bei Älteren bewirkt. Die Effekte für die kognitive Trainingsgruppe waren noch stärker ausgeprägt und betrafen nicht nur die Fehlerrate sondern auch die Reaktionszeit.

Für die EKP ergaben sich Veränderungen der Trainingsgruppen an unterschiedlichen Stellen. Zunächst wurde die CueP3 untersucht, welche die Vorbereitung auf die Aufgabe und den Abruf relevanter Aufgabenregeln widerspiegelt.

Die KörTG zeigte nach dem Training eine höhere Amplitude der CueP3 für die Dimension Wortbedeutung des gemischten Blocks, ein Korrelat in den Verhaltensdaten ließ sich nicht finden – möglicherweise wegen eines „Deckeneffektes“. Die KogTG wies nach dem Training eine höhere Amplitude der CueP3 für die Dimension Farbe und Aufgabenwiederholungen auf. Die Verbesserung in den Verhaltensdaten könnte also darauf zurückgeführt werden, dass die KogTG die Vorbereitung auf die Aufgabe im Vergleich zu den Kontrollgruppen steigern konnte. In den Verhaltensdaten zeigte die KogTG eine niedrigere Fehlerrate für die relevante Dimension Farbe (inkongruente Reize) und für Aufgabenwiederholungen.

Die Amplitude der N2 wird mit der Verarbeitung von Interferenz (Gajewski et al., 2010b; Rushworth et al., 2002) und der Ausübung von kognitiver Kontrolle im

Allgemeinen (Folstein & Van Petten, 2008) in Verbindung gebracht. Die Amplitude der N2 war in der KogTG nach dem Training ausgeprägter für inkongruente Reize im gemischten Block, was die Verbesserung der Fehlerrate auf inkongruente Reize für die KogTG im gemischten Block erklärt. Durch das Training wurde also eine verbesserte kognitive Kontrolle bei der Verarbeitung von Interferenz erreicht.

Insgesamt zeigten beide Trainingsgruppen eine höhere Amplitude für kongruente Reize – also eine verbesserte kognitive Kontrolle in der weniger konflikthaften Bedingung. Ein Korrelat in den Verhaltensdaten lässt sich für diese Veränderung nicht finden.

Eine niedrigere Latenz der N2 im einfachen Block Wortbedeutung der KogTG und eine höhere Latenz der N2 im einfachen Block Farbe für die Trainingsgruppen könnten auf eine kompensatorische Anpassung der Dauer der Verarbeitung deuten, wenn der Konflikt höher oder niedriger ist.

Die niedrigere P3-Amplitude an frontozentralen Elektroden im Aufgabenwechsel in den Trainingsgruppen – insbesondere in der KogTG – können am besten durch eine sich überlagernde frontozentrale Negativierung (ähnlich der parietalen  $N_i$ ) erklärt werden. Die Trainingsgruppen scheinen zur Bewältigung der proaktiven Interferenz zusätzliche Hirnareale zu rekrutieren, dies ist in Einklang mit der Kompensationshypothese (Reuter-Lorenz & Cappell, 2008). In den Verhaltensdaten wurde übereinstimmend eine niedrigere Fehlerrate der Trainingsgruppen im Vergleich zu den Kontrollgruppen bei Aufgabenwechseln gefunden.

Insgesamt konnten durch die Untersuchung der EKP unterschiedliche Veränderungen der Prozesse in den vier Gruppen gefunden werden. Teilweise lässt sich eine Verbindung zu den Verhaltensdaten herstellen. Fest steht, dass in die Trainingsgruppen – insbesondere die KogTG – im Vergleich zu den Kontrollgruppen spezifische Veränderungen der untersuchten Prozesse aufweisen.

## 5 Allgemeine Diskussion

### 5.1 Zusammenführung der Ergebnisse aus den Studien I und II

In der kombinierten Stroop-Switch-Aufgabe entsteht Interferenz bei der Aufrechterhaltung (wechselnder) Handlungsziele. Schon bei der Vorbereitung auf die Aufgabe muss der Hinweisreiz mit dem korrekten Handlungsziel und der damit verbundenen Aktivierung der geeigneten Reiz-Reaktions-Verknüpfungen (Task-Sets) assoziiert werden (Rogers & Monsell, 1995). Dabei entsteht Interferenz durch das ebenfalls für die Aufgabe benötigte, jedoch im aktuellen Durchgang nicht relevante Handlungsziel (und die verknüpften Task-Sets). Die Interferenz ist größer, wenn vorher ein anderes Handlungsziel relevant war und proaktive Interferenz überwunden werden muss (Aufgabenwechsel; Allport et al., 1994).

Nach Erscheinen des Zielreizes kann die Interferenz zudem durch den Zielreiz ausgelöst werden, durch welchen die nicht relevanten Antworten aktiviert werden. Dies ist der Fall, wenn durch die Stimulusdimensionen unterschiedliche Reiz-Reaktions-Verknüpfungen aktiviert werden. Die Interferenz ist größer, wenn die Stimulusdimensionen inkongruent sind (und somit unterschiedliche Reaktionen erfordern), wenn bestimmte verknüpfte Antworten dominieren (relevante Dimension Wortbedeutung) oder im vorangehenden Durchgang bereits aktiviert waren und noch aktiviert sind (Aufgabenwechsel).

Allein durch die Erhebung der Reaktionszeiten lässt sich nicht feststellen, an welcher Stelle der Informationsverarbeitung Interferenz entsteht und auf welche Art und Weise Ältere Veränderungen aufweisen. Deshalb wurden in der vorliegenden Studie zusätzlich die EKP betrachtet, um weiteren Aufschluss zu erhalten.

Die Verhaltensdaten zeigten für Jüngere und Ältere Interferenz durch die relevante Dimension Farbe (Reaktionszeit und Fehlerrate), den Aufgabenwechsel (Reaktionszeit) und aufgrund der Inkongruenz (Reaktionszeit und Fehlerrate, hier noch verstärkt für die Dimension Farbe). Ältere zeigten im Vergleich zu Jüngeren noch höhere Beeinträchtigungen für die relevante

Dimension Farbe (Reaktionszeit), den Aufgabenwechsel (Reaktionszeit) und inkongruente Reize (Fehlerrate).

In Blöcken mit einem Wechsel der Aufgabe (gemischter Block) müssen mehrere Task-Sets parallel aktiv gehalten werden. Dies führt zu einer erhöhten Belastung des Arbeitsgedächtnisses, was auch bei Aufgabenwiederholungen des gemischten Blocks höhere Reaktionszeiten und Fehlerraten im Vergleich zu Blöcken ohne Aufgabenwechsel zur Folge hat – die Mischkosten. Die Mischkosten waren bei Älteren im Vergleich zu Jüngeren größer.

Durch das kognitive Training konnte eine vergleichsweise größere Verbesserung der Reaktionszeit im einfachen Block Farbe bei inkongruenten Reizen erzielt werden. In Bezug auf die Fehlerrate verbesserte sich die KogTG in der Dimension Wortbedeutung und Farbe sowie bei Aufgabenwiederholungen und Aufgabenwechseln und bei inkongruenten Reizen.

Durch das körperliche Training konnte lediglich eine Verbesserung der Fehlerrate auf inkongruente Reize (im Speziellen Wortbedeutung) und bei Aufgabenwiederholungen erreicht werden.

Im Intervall zwischen Hinweisreiz und Zielreiz zeigte sich für Jüngere und Ältere eine höhere CueP3 für die Durchgänge mit einem Aufgabenwechsel als mit einer Aufgabenwiederholung wobei Ältere eine breitere Verteilung über den Skalp zeigten. Ältere aktivieren bei der Vorbereitung auf die Aufgabe also andere bzw. zusätzliche Hirnareale als Jüngere (Kompensationshypothese, Reuter-Lorenz & Cappell, 2008). Die Ergebnisse sprechen dafür, dass die CueP3 (auch) den Abruf der relevanten Aufgabenregeln (aus dem Arbeitsgedächtnis) widerspiegelt (Karayanidis et al., 2010). Ein Unterschied zwischen Jüngeren und Älteren zeigte sich nur bei Aufgabenwiederholungen, hier zeigten Ältere eine kleinere Amplitude als Jüngere. Für Aufgabenwechsel wurde der Gruppenunterschied nicht signifikant. Da Ältere auch höhere Mischkosten aufwiesen als Jüngere reflektiert die CueP3 somit auch die Belastung des Arbeitsgedächtnisses durch die Aufgabensituation: Ältere verfügen über geringere Arbeitsgedächtnis-Kapazitäten als Jüngere. Ihre Ressourcen sind durch die Aufrechterhaltung von Gedächtnisinhalten bereits zu größeren Anteilen ausgeschöpft als bei Jüngeren. Deshalb können sie weniger Ressourcen für die Vorbereitung auf die Aufgabe bereitstellen. Nicht betroffen hiervon sind hingegen Prozesse beim Wechsel zwischen Aufgaben innerhalb des Blocks – Ältere zeigen hier im Vergleich zu

Jüngeren zwar unterschiedliche Aktivierungsmuster jedoch keinen signifikanten Unterschied in der Amplitude. Die spezifischen Prozesse des Wechsels scheinen also eine separate Unterkomponente der CueP3 zu sein (siehe auch Karayanidis et al., 2011a), welche weniger stark von altersbedingten Verschlechterungen betroffen ist. Bei einem Aufgabenwechsel zeigten Ältere im Vergleich zu Jüngeren auch lediglich höhere Reaktionszeiten – keine höheren Fehlerraten. Für die KogTG (und in geringerem Ausmaß für die SozKG) zeigte sich eine höhere CueP3 für Aufgabenwechsel des gemischten Blocks nach dem Training. Dies spricht dafür, dass in der schwierigen Aufgabensituation mehr Ressourcen für den Abruf der Aufgabenregeln verfügbar sind. Möglicherweise können die mit dem Arbeitsgedächtnis verknüpften Prozesse besser genutzt werden.

Nur Jüngere zeigten eine höhere CueP3 für die relevante Dimension Wortbedeutung im Vergleich zur Dimension Farbe. Das körperliche Training führte ebenfalls zu einer höheren CueP3 für die relevante Dimension Wortbedeutung, ein Korrelat in den Verhaltensdaten ließ sich jedoch weder für die Jüngeren noch für die KörTG finden.

Hingegen führte das kognitive Training zu einer höheren CueP3 für die relevante Dimension Farbe. Auf Verhaltensebene zeigte sich die Verbesserung der Fehlerrate auf inkongruente Reize in der Dimension Farbe für die KörTG, was für die Verbesserung der Leistung durch einen verbesserten Prozess der Vorbereitung sprechen würde.

Nach Erscheinen des Zielreizes zeigte sich sowohl bei Jüngeren als auch bei Älteren eine höhere Amplitude der N2 für inkongruente Reize der relevanten Dimension Farbe. Folgt man der Interpretation, dass die Komponente N2 die Verarbeitung von Interferenz bzw. Konfliktbewältigung widerspiegelt (Gajewski et al., 2010b; Rushworth et al., 2002), heißt das, dass Interferenz durch den Stimulus möglicherweise nur im Zusammenhang mit einer bestimmten Aufgabensituation entsteht – also wenn die dominante Stimulusdimension nicht relevant ist. Ältere zeigten eine insgesamt schwächer ausgeprägte Amplitude und eine etwas längere Latenz der N2. Der Prozess der Konfliktverarbeitung ist bei ihnen schwächer (und möglicherweise nicht so effizient) und verzögert. Sowohl die KogTG als auch die KörTG zeigten nach dem Training eine höhere N2 Amplitude bei kongruenten Reizen. In der weniger konflikthaften Bedingung

konnte der Prozess der kognitiven Kontrolle also in beiden Trainingsgruppen gesteigert werden.

Allerdings zeigte nur die KogTG eine höhere Amplitude der N2 bei inkongruenten Reizen. Die KogTG zeigte nach dem Training auch die höchste Verbesserung der Fehlerrate auf inkongruente Reize, was für eine verbesserte Verarbeitung von Interferenz in der konflikthaften Bedingung spricht.

Die Amplitude der P3 war bei Jüngeren und Älteren durch die Aufgabenabfolge beeinflusst – bei einem Aufgabenwechsel war die Amplitude niedriger. Nur Ältere zeigten eine Negativierung bei inkongruenten Reizen, die  $N_i$ , welche sich zeitlich und topografisch mit der P3 überlappte, im Gegensatz zu Jüngeren rekrutieren sie also zusätzliche Ressourcen zur Interferenzverarbeitung. (Kompensationshypothese; Reuter-Lorenz & Cappell, 2008). Möglicherweise wird die P3 auch beim Aufgabenwechsel durch eine Negativierung überlagert, welche die Verarbeitung von proaktiver Interferenz durch die vorangehende Aufgabe widerspiegelt. Nach dem Training zeigte sich für die KogTG eine Reduktion der P3 Amplitude (durch eine überlagernde Negativierung) bei Aufgabenwechseln – verbunden mit einer Reduktion der Fehlerrate, was für diese Theorie sprechen würde.

## **5.2 Einordnung in das theoretische Konstrukt des kognitiven Alterungsprozesses**

Mit der vorliegenden Studie konnten verschiedene Korrelate der Altersveränderungen, welche sich auf Verhaltensebene zeigen, in den EKP gefunden werden. Bei der Vorbereitung auf die Aufgabe zeigte sich, dass Ältere weniger Ressourcen für die Aktualisierung der Aufgabenregeln bereitstellen können, möglicherweise ist ihr Arbeitsgedächtnis zu einem größeren Anteil durch die Aufrechterhaltung der Aufgabe beansprucht als bei Jüngeren. Dies ist als Folge einer reduzierten Kapazität des Arbeitsgedächtnisses bzw. eingeschränkter Ressourcen Älterer zu interpretieren (siehe hierzu auch Wingfield, Stine, Lahar & Aberdeen, 1988 und Schneider-Garces et al., 2010).

Die spezifischen Prozesse, welche bei einem Wechsel der Aufgabe in der Vorbereitung auf die Aufgabe vollzogen werden, sind bei Älteren weniger stark oder kaum betroffen. Durch das kognitive Training konnte der Prozess der

Aktualisierung der Aufgabenregeln verbessert werden. Möglicherweise konnte dies durch eine bessere Strategie bei der Zuordnung der Verarbeitungsressourcen erreicht werden.

Durch das körperliche und das kognitive Training konnte die allgemeine kognitive Kontrolle verbessert werden. Nur durch das kognitive Training wurde hingegen die kognitive Kontrolle bei gesteigertem Konflikt (inkongruente Reize) verbessert. Ebenso konnte die Verarbeitung proaktiver Interferenz vor allem durch das kognitive Training gesteigert werden (in geringerem Maße durch das körperliche Training). Es ist wahrscheinlich, dass Ältere bei der Interferenzverarbeitung zusätzliche Ressourcen rekrutieren, deren Nutzung durch das kognitive Training verbessert wurde (Reuter-Lorenz & Cappell, 2008).

Durch das körperliche Training wurde eine eher unspezifische Verbesserung erreicht, die möglicherweise auf eine Verbesserung der bestehenden Strukturen durch die körperliche Fitness zurückzuführen ist. Andererseits könnte durch das körperliche Training ebenfalls eine Verbesserung von strategischen Prozessen (z.B. durch das Training von motorischen Abläufen und Koordination) erreicht worden sein, welche jedoch nicht in gleichem Ausmaß zu einer Verbesserung in der untersuchten Aufgabe geführt hat wie das kognitive Training.

Die Veränderung durch das kognitive Training betraf vor allem jene Prozesse, welche für die erfolgreiche Bearbeitung der Aufgabe eine kritische Rolle spielen. Dies könnte auch so interpretiert werden, dass durch das kognitive Training eine spezifische Veränderung erreicht wurde, welche zu einer besseren Bewältigung der Aufgabe geführt hat, was eher auf die Anpassung strategischer Prozesse (Ressourcenzuweisung, Optimierung von Verarbeitungsprozessen) deutet, als auf eine Veränderung der Morphologie. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die im kognitiven Training verwendeten Aufgaben eine größere Überschneidung mit der Stroop-Switch-Aufgabe aufweisen. So bestand beispielsweise eine im kognitiven Training verwendete Aufgabe darin, auf dem Bildschirm des PCs einen Zielreiz (in diesem Fall ein Ballon) zu identifizieren, dabei musste das gezeigte Reizmuster im Arbeitsgedächtnis aktiv gehalten werden, irrelevante Reizeigenschaften (Muster, Farbe) ignoriert und relevante Reizeigenschaften identifiziert werden (peds Braintrainer, siehe Anhang). So könnte die Verbesserung der Prozesse (Arbeitsgedächtnis, Interferenzverarbeitung) in der trainierten Aufgabe dazu geführt haben, dass die

so erzielten Verbesserungen auf die Stroop-Switch-Aufgabe angewendet werden konnten (Transfer).

So lassen sich die Ergebnisse weniger dahingehend interpretieren, dass eine Umkehr hin zu der Funktionsweise eines jüngeren Gehirns erfolgte, sondern vielmehr eine Einbettung der Funktionen in die bestehende Morphologie entstand. Dabei erfolgte eine Kompensation möglicherweise auch über die Rekrutierung zusätzlicher Ressourcen also die Einbeziehung weiterer Hirnareale, was für die Kompensationshypothese spricht (Reuter-Lorenz & Cappell, 2008). Für diese Hypothese spricht zudem, dass der Vergleich der Altersgruppen das Ergebnis lieferte, dass bei Älteren einige Prozesse (CueP3 und P3) stärker als bei Jüngeren über den gesamten Skalp verteilt sind, was auch in früheren Studien bereits festgestellt wurde (West & Travers, 2008; Karayanidis et al., 2011; Gajewski et al., 2010a; Karayanidis et al., 2011b).

Folgt man dieser Interpretation und überträgt sie auf das Zweikomponentenmodell der Intelligenzentwicklung, so würde dies bedeuten, dass sich die Mechanik der Intelligenz (Baltes, 1987) also die grundlegende Architektur des informationsverarbeitenden Systems mit dem Alterungsprozess verändert und die bestehenden Strukturen anders genutzt werden müssen als zuvor, um ähnlich gute Leistungen zu erbringen. Dieser Anpassungsprozess kann durch Training gefördert werden, dabei scheint das kognitive Training, welches in der vorliegenden Studie durchgeführt wurde, gut geeignet zu sein. Wahrscheinlich ist, dass durch das Training neue Strategien zur besseren Nutzung des bestehenden Systems erlernt wurden. Was sich feststellen lässt ist, dass durch das kognitive Training nicht nur eine Verbesserung auf Verhaltensebene erreicht wurde, sondern mit dem Training auch eine Veränderung der ereigniskorrelierten Potentiale einherging. Diese Veränderungen deuten auf die bessere Nutzung bestehender Prozesse und Strukturen und auf die Rekrutierung neuer Ressourcen infolge einer veränderten Morphologie.

Auch durch das körperliche Training wurde eine Verbesserung auf Verhaltensebene und Ebene der EKP erreicht, welche jedoch im Vergleich zu der Veränderung durch das kognitive Training geringer ausfiel und häufig Prozesse oder Bedingungen betraf, in welchen man durch eine Veränderung keine Verbesserung auf Verhaltensebene erwartete (und finden konnte).

Möglicherweise konnte eine Verbesserung von Prozessen erreicht werden, welche für die Bewältigung der Stroop-Switch-Aufgabe nicht entscheidend waren. Vielleicht war die hier gewählte Art und Dauer des Trainings auch nicht optimal. In der Metaanalyse von Colcombe und Kramer (2003) wurden die besten Effekte für ein Training mit einer Dauer von 6 Monaten und länger gefunden und Trainingseinheiten mit einer Dauer von 30-45 Minuten. Die vorliegende Studie gibt somit einen Hinweis darauf, dass körperliches Training eine Verbesserung der kognitiven Funktionen bewirken kann, jedoch besteht bezüglich der optimalen Art und Dauer des Trainings weiterer Forschungsbedarf.

### 5.3 Kritische Reflexion

Das für diese Studie gewählte kognitive Training hatte eine deutliche Verbesserung der Leistungen auf Verhaltensebene und auch eine Veränderung der EKP zur Folge. Es ist jedoch unklar, welche Faktoren des Trainings die kognitiven Funktionen positiv beeinflusst haben. So ist beispielsweise denkbar, dass nicht (alleine) die Übungen einen positiven Effekt hatten, sondern schon das Erlernen des Umgangs mit dem PC einen Einfluss auf die kognitiven Funktionen hat. Möglicherweise haben Ältere weniger Erfahrung damit, auf Reize, welche auf einem Bildschirm dargeboten werden, mithilfe von Maus oder Tastatur zu reagieren. Dieser Vorgang wurde während des kognitiven Trainings geschult und könnte so in der Nachmessung zu einem Vorteil geführt haben. Außerdem bestand das kognitive Training aus einer Vielzahl von Übungen, so dass sich im Nachhinein schlecht feststellen lässt, welche dieser Übungen tatsächlich einen positiven Effekt hatten. Vielleicht wurde die Verbesserung durch das Zusammenspiel der einzelnen Übungen erreicht, es wäre hingegen aber auch denkbar, dass einzelne Übungen einen großen Einfluss hatten.

Neben der Art und Dauer des Trainings ist die Stichprobe ein weiterer Punkt, welcher kritisch reflektiert werden muss. In der vorliegenden Studie wurde die Stichprobe der Älteren über Aufrufe in den örtlichen Medien rekrutiert. Somit ist denkbar, dass die so gewonnenen Teilnehmer keinesfalls die Grundgesamtheit der Älteren repräsentieren, sondern durch die Selbstselektion (der Teilnehmer trifft selbst die Entscheidung, ob er an der Studie teilnehmen möchte) eine Stichprobe mit besonderen Eigenschaften entstanden ist. Denkbar ist, dass sich

eher Personen auf den Aufruf gemeldet haben, welche ein großes Interesse an Verhaltensweisen und Maßnahmen zur Erhaltung ihrer geistigen Gesundheit mitbringen. So ist davon auszugehen, dass die Teilnehmer über eine hohe intrinsische Motivation verfügen („mir geht es besser, wenn ich geistig fit bin“) sowie eine hohe Handlungswirksamkeit („wenn ich mich geistig fit halte, dann bleibe ich länger selbständig“) und Selbstwirksamkeit („ich traue mir zu, die im Rahmen der Studie geforderten Aufgaben zu bewältigen“). Im Gegensatz dazu werden sich weniger wahrscheinlich ältere Personen gemeldet haben, welche über eine eher extrinsische Motivation verfügen („meine Tochter möchte, dass ich an der Studie teilnehme“) sowie eine niedrige Handlungswirksamkeit („es macht keinen Unterschied, ob ich mich geistig fit halte oder nicht“) und Selbstwirksamkeit („ich werde die Anforderungen der Studie nicht bewältigen können“, siehe hierzu auch Lippke & Renneberg, 2006). Personen mit einer hohen intrinsischen Motivation, Handlungswirksamkeit und Selbstwirksamkeit zeigen zudem eher gesundheitsförderliche Verhaltensweisen (siehe Lippke & Renneberg, 2006), was auch die geistige Gesundheit umfasst. So ist es möglich, dass die durch den Aufruf gewonnene Stichprobe nicht die Grundgesamtheit der Älteren repräsentiert, sondern eher jene, die eine hohe geistige und körperliche Gesundheit vorweisen.

Im Gegensatz zur Stichprobe der Älteren wurde die Stichprobe der Jüngeren hauptsächlich aus Studenten rekrutiert. Auch diese Stichprobe entspricht somit nicht der Grundgesamtheit der Jüngeren. Im Vergleich zu den Älteren ist die Stichprobe der Jüngeren somit auch viel homogener, was die soziodemografischen Merkmale betrifft, was zu einer Verzerrung der Ergebnisse geführt haben könnte.

Zuletzt ist kritisch zu reflektieren, ob mit der gewählten Aufgabe (Stroop-Switch) tatsächlich eine Aussage über die exekutiven Funktionen getroffen werden kann. Die Objektivität des Messverfahrens ist als hoch einzuschätzen, da sowohl bei der Durchführung, bei der Auswertung und auch bei der Interpretation der Daten eine hohe Standardisierung erreicht wurde.

Die Reliabilität, also die Genauigkeit, mit der gemessen wird, ist bei der Erhebung der EKP in starkem Maße von der Anzahl der Durchgänge abhängig. Jedoch ist die Aufgabensituation für die Versuchspersonen anstrengend und somit wurde versucht, die Anzahl der Durchgänge niedrig zu halten. Dies war

auch der Tatsache geschuldet, dass in der vorliegenden Studie neben der vorgestellten Aufgabe andere Aufgaben durchgeführt wurden, was die allgemeine Belastung der Versuchspersonen erhöhte. In der hier vorgestellten Stroop-Switch-Aufgabe konnten aus diesem Grund nicht alle Bedingungen ausgewertet werden. Zumindest für den Vergleich der beiden Altersgruppen ist denkbar, die Aufgabe mit einer höheren Anzahl der Durchgänge zu wiederholen. Schwierig ist die Beurteilung der Validität des Untersuchungsverfahrens. Inhaltlich valide ist ein Verfahren, wenn es die beste Operationalisierung eines theoretischen Konstrukts ist. Da jedoch das theoretische Konstrukt der exekutiven Funktionen recht uneinheitlich ist, ist auch die Operationalisierung schwierig. Ob somit durch das vorliegende Experiment auch Aussagen bezüglich der exekutiven Funktionen im Allgemeinen getroffen werden können (also die Konstruktvalidität gegeben ist) ist somit auch fraglich.

Die interne Validität ist gegeben, wenn die Veränderung der abhängigen Variable eindeutig auf die Variation der unabhängigen Variable zurückgeführt werden kann. In der ersten sowie in der zweiten Studie ist die interne Validität möglicherweise durch eine Stichprobe gefährdet, welche nicht der Grundgesamtheit entspricht und somit die Auswirkungen auf die unabhängigen Variablen verzerrt. In der zweiten Studie können Ausfälle von Probanden die interne Validität gefährden. So könnte es sein, dass in einer Trainingsgruppe mehr Probanden weggefallen sind (weil die Bedingungen anstrengender waren) als in einer anderen. Oder es könnten nur diejenigen durchgehalten haben, welche besonders erfolgreich waren. Jedoch war die Rate von Ausfällen sehr gering (6,6 %) und betraf keine der Gruppen in besonderem Maße. Außerdem könnten trotz der zufälligen Verteilung der Teilnehmer auf die vier Gruppen unterschiedliche Anfangsbedingungen in den Gruppen zu einer Verzerrung der Ergebnisse geführt haben.

Externe Validität ist gegeben, wenn sich die Ergebnisse dieser Studie auch auf andere Designs, Instrumente, Orte, Zeiten und Situationen übertragen lassen. Auch hierüber lässt sich schwer eine Aussage treffen. Weitere Studien, welche ähnliche Paradigmen verwenden und welche den Vergleich zwischen Jüngeren und Älteren bzw. ein Training Älterer untersuchen und die Ergebnisse unterstützen, können die externe Validität der hier gefundenen Ergebnisse erhöhen.

## 5.4 Fazit

Die vorliegenden beiden Studien wurden vor dem Hintergrund einer immer älter werdenden Gesellschaft in den Industrienationen durchgeführt (Statistisches Bundesamt, Statistisches Jahrbuch, 2011). In Zukunft wird es immer wichtiger werden, die körperliche und geistige Gesundheit Älterer möglichst lange zu erhalten. Dabei sind die exekutiven Funktionen von besonderem Interesse, da sie zum einen eine entscheidende Rolle bei der Verhaltenssteuerung spielen und zum anderen in besonderem Maße von Alterungsprozessen betroffen sind. Ihr schlechter Status kann zu Beeinträchtigungen im Alltag führen und somit auch das Risiko von Unfällen erhöhen (Lilley, 1995)

Die durchgeführte Studie sollte zum einen Aufschluss über den Status der kognitiven Funktionen Älterer liefern und die zugrundeliegenden Prozesse näher durchleuchten. Zum anderen sollten Mittel und Wege erforscht werden, den gefundenen Defiziten entgegenzuwirken.

In der ersten Studie wurde die Leistung von Jüngeren und Älteren anhand der Stroop-Switch-Aufgabe verglichen. Ältere zeigten auf Verhaltensebene schlechtere Leistungen als Jüngere. Sie waren stärker durch die Interferenz durch irrelevante Information beeinträchtigt – insbesondere, wenn die dominante Dimension unterdrückt werden musste. Sie zeigten außerdem (wenn auch wenig) höhere Wechselkosten durch proaktive Interferenz und hatten vor allem größere Schwierigkeiten bei höherer Arbeitsgedächtnisbelastung – also wenn mehrere Task-Sets parallel aktiv gehalten werden müssen.

Die in den Verhaltensdaten gefundenen Schwierigkeiten gingen mit Unterschieden in den EKP einher. Diese zeigten sich bei Prozessen, welche mit der Aufrechterhaltung von Arbeitsgedächtnisinhalten, der kognitiven Kontrolle und Interferenzverarbeitung einhergingen. Jedoch zeigten sich auch kompensatorische Mechanismen Älterer, vor allem durch die Rekrutierung zusätzlicher Ressourcen bei der Vorbereitung auf die Aufgabe und bei der Interferenzverarbeitung.

Im zweiten Teil der Arbeit wurde der Frage nachgegangen, ob Ältere ihre kognitiven Leistungen durch Training verbessern können.

Durch das kognitive Training konnte im Vergleich zu den anderen Gruppen eine größere Verbesserung der Reaktionszeiten bei Interferenz durch irrelevante

Information (inkongruente Reize) und in der nicht dominanten Dimension erzielt werden. Beide Trainingsgruppen konnten ihre Fehlerrate für inkongruente Reize senken, zeigten somit weniger Interferenz durch irrelevante Information. Außerdem hatten sie im Vergleich zu den anderen Gruppen eine niedrige Fehlerrate bei Aufgabenwiederholungen – also weniger Schwierigkeiten bei hoher Arbeitsgedächtnisbelastung.

Die Veränderungen zeigten sich auch auf Ebene der EKP. Die körperliche Trainingsgruppe zeigte eine gesteigerte Vorbereitung auf die Aufgabe, wenn die dominante Dimension relevant war, die kognitive Trainingsgruppe hingegen, wenn die nicht-dominante Dimension relevant war. Beide Trainingsgruppen zeigten im Vergleich zu den anderen Gruppen eine höhere N2 Amplitude nach dem Training, was für eine Steigerung der kognitiven Kontrolle im Allgemeinen spricht. Bei inkongruenten Reizen konnte nur die kognitive Trainingsgruppe die Amplitude ihrer N2 steigern, was für eine verbesserte Interferenzverarbeitung spricht. Nur die kognitive Trainingsgruppe zeigte eine niedrigere P3 Amplitude bei Aufgabenwechseln nach dem Training. Möglicherweise spiegelt diese einen sich überlagernden Prozess (Negativierung) der Interferenzverarbeitung (proaktive Interferenz) wider, was die sogenannte Kompensationshypothese stützen würde, welche besagt, dass Ältere zur Bewältigung von kognitiven Anforderungen zusätzliche Ressourcen rekrutieren (müssen).

Insgesamt führten beide Arten von Training zu einer Verbesserung der kognitiven Funktionen, jedoch war die Verbesserung durch das kognitive Training noch größer. Durch das körperliche Training könnte ebenfalls eine Verbesserung von strategischen Prozessen (z.B. durch das Training von motorischen Abläufen) erreicht worden sein, welche jedoch nicht in gleichem Maße zu einer Verbesserung in der Stroop-Switch-Aufgabe geführt hat. Offensichtlich war die Überschneidung der trainierten und der getesteten Prozesse (Stroop-Switch-Aufgabe) größer beim kognitiven als beim körperlichen Training.

Aus den hier gefundenen Ergebnissen lässt sich somit ableiten, dass sowohl kognitives als auch körperliches Training dazu beitragen kann, die kognitiven Funktionen Älterer zu erhalten und zu verbessern. Dabei ist eine Verbesserung im Bereich der Funktionen zu erwarten, welche trainiert werden. Da die sogenannten exekutiven Funktionen eine entscheidende Rolle bei der Verhaltenssteuerung und der Bewältigung verschiedenster Aufgaben spielen,

kann ein Training dieser Funktionen zu einer Verbesserung der Verhaltenssteuerung in vielen Situationen führen (Transfer). Multimodale Trainingsansätze wie das in dieser Studie durchgeführte kognitive Training scheinen besonders geeignet zu sein, da eine Vielzahl von Funktionen mit unterschiedlichen Aufgaben angesprochen und trainiert werden. So kann beispielsweise die bessere Verarbeitung von Interferenz durch irrelevante Information dazu beitragen, dass das Verhalten in verschiedenen Situationen schneller und fehlerfreier gesteuert werden kann. Dies kann z.B. beim Führen eines Kraftfahrzeuges von entscheidender Bedeutung sein (Wahrnehmung von Verkehrshinweisen bei Interferenz durch Reklame etc.) aber auch bei alltäglichen Tätigkeiten wie z.B. bei einer Unterhaltung mit ablenkenden Hintergrundgeräuschen.

Die vorliegende Studie kann somit als weiterer Baustein in der Erforschung kognitiver Altersveränderungen und der Verbesserung der kognitiven Verschlechterungen durch Training betrachtet werden. Jedoch wird die Erforschung des menschlichen Verhaltens und der zugrunde liegenden Prozesse immer eine große wissenschaftliche Herausforderung bleiben. Nur die weitere Erforschung mit unterschiedlichen Methoden, das Zusammenwirken verschiedener Disziplinen und die Zusammenführung der Forschungsergebnisse kann letztlich zu einem besseren Verständnis kognitiver Prozesse und den damit verknüpften Veränderungen im Alter führen.

## 6 Zusammenfassung

Die vorliegende Studie wurde vor dem Hintergrund einer immer älter werdenden Gesellschaft in den Industrieländern durchgeführt. Alterungsprozesse betreffen auch die kognitiven Funktionen, allerdings sind nicht alle Prozesse von Verschlechterungen betroffen, z.B. nehmen soziale Fähigkeiten und sprachliche Kompetenzen mit steigendem Alter sogar zu. Die Verschlechterungen betreffen vor allem das Arbeitsgedächtnis und die sogenannten exekutiven Funktionen, welche von besonderer Bedeutung sind, da sie das Verhalten in neuen und komplexen Situationen steuern. Zu den exekutiven Funktionen gehört auch die Verarbeitung von Interferenz – vereinfacht gesagt die Widerstandsfähigkeit gegenüber irrelevanten Informationen oder Handlungstendenzen.

Die Studie untergliedert sich in zwei Teile. Im ersten Teil der Studie wurden die Unterschiede zwischen Jüngeren und Älteren vor allem Bezug auf die Interferenzverarbeitung untersucht. Der zweite Teil der Studie war der Fragestellung gewidmet, ob sich die gefundenen Beeinträchtigungen Älterer durch gezieltes Training verbessern lassen. Dabei wurden die Effekte von körperlichem und kognitivem Training untersucht und mit denen einer passiven Kontrollgruppe verglichen sowie mit einer (Pseudo-)Trainingsgruppe. Die (Pseudo-)Trainingsgruppe erhielt ein Quasi-Training (Entspannungstechniken, Rückenschule etc.) von welchem kein Effekt auf die kognitiven Funktionen erwartet wurde und diente der Kontrolle des Faktors „soziales Miteinander“.

Um die Unterschiede zwischen Jüngeren und Älteren und die Trainingseffekte zu untersuchen, wurde eine Kombination von Stroop-Aufgabe und Aufgabenwechsel-Paradigma gewählt. In der Stroop-Aufgabe entsteht Interferenz, wenn die Farbe eines Wortes benannt werden muss, dessen geschriebene Wortbedeutung nicht übereinstimmt (z.B. rot in grüner Farbe). Beim Aufgabenwechsel entsteht Interferenz durch den Wechsel zwischen verschiedenen Aufgaben(regeln). In der kombinierten Stroop-Switch-Aufgabe muss die Versuchsperson wechselnd auf die Wortbedeutung oder die Farbe des Zielreizes reagieren.

Neben Reaktionszeiten und Fehlerraten wurde das EEG abgeleitet, um daraus die ereigniskorrelierten Potenziale (EKP) zu extrahieren, welche zusätzliche

Informationen über die kognitive Verarbeitung der beiden Altersgruppen liefern sollte.

Im Vergleich der Altersgruppen zeigten Ältere auf Verhaltensebene (Reaktionszeiten und/oder Fehlerraten) schlechtere Leistungen als Jüngere. Sie waren stärker durch Interferenz durch irrelevante Information beeinträchtigt, insbesondere wenn sie die Farbe des Zielreizes benennen mussten. Sie zeigten größere Defizite, wenn zwischen Aufgaben gewechselt werden musste und hatten insgesamt größere Schwierigkeiten durch die hohe Arbeitsgedächtnisbelastung in der Aufgabe.

Die in den Verhaltensdaten gefundenen Schwierigkeiten gingen mit Unterschieden in den EKP einher und zeigten sich in Prozessen, welche mit der Aufrechterhaltung von Inhalten des Arbeitsgedächtnisses, mit der kognitiven Kontrolle und mit der Interferenzverarbeitung assoziiert sind.

Jedoch zeigten sich auch kompensatorische Mechanismen Älterer vor allem durch die Rekrutierung zusätzlicher Ressourcen bei der Vorbereitung auf die Aufgabe und bei der Bewältigung von Interferenz.

Um die Effekte des Trainings zu untersuchen, wurden die Leistungen der vier Gruppen zu zwei Testzeitpunkten miteinander verglichen, es wurde wie im ersten Teil die Stroop-Switch-Aufgabe eingesetzt. Zwischen den beiden Testzeitpunkten führten 3 der vier Gruppen ein Training durch (kognitives Training, körperliches Training und Quasi-Training), eine Gruppe (passive Kontrollgruppe) erhielt keine Art von Training. Der Vergleich der Gruppen zeigte, dass sich vor allem die kognitive Trainingsgruppe im Vergleich zu den anderen Gruppen verbessern konnte. Die Verbesserungen zeigten sich in der Fehlerrate und etwas weniger ausgeprägt in der Reaktionszeit. Die körperliche Trainingsgruppe konnte ebenfalls größere Verbesserungen erzielen– allerdings nur bezüglich der Fehlerrate.

Die Verbesserungen der Trainingsgruppen gingen mit Veränderungen der EKP einher. Diese betrafen die Vorbereitung auf die Aufgabe, die kognitive Kontrolle und die Interferenzverarbeitung. Sowohl die Verbesserungen auf Verhaltensebene als auch die Veränderungen der EKP fielen für die kognitive Trainingsgruppe deutlicher aus. Sie betrafen vor allem jene Prozesse, welche für die Bearbeitung der Aufgabe eine kritische Rolle spielen. Die für die körperliche Trainingsgruppe gefundenen Veränderungen waren unspezifischer.

Vermutlich konnte durch das kognitive Training eine Anpassung strategischer Prozesse (Zuweisung von Ressourcen, Optimierung von Verarbeitungsprozessen) erreicht werden. Denkbar ist auch, dass die Rekrutierung zusätzlicher Ressourcen im Sinne der Kompensation bestehender Defizite verbessert wurde. Durch das körperliche Training könnte ebenfalls eine Verbesserung von strategischen Prozessen (z.B. durch das Training von motorischen Abläufen) erreicht worden sein, welche jedoch nicht in gleichem Maße zu einer Verbesserung in der Stroop-Switch-Aufgabe geführt hat. Offensichtlich war die Überschneidung der trainierten und der getesteten Prozesse (Stroop-Switch-Aufgabe) größer beim kognitiven als beim körperlichen Training. Insofern ist anzunehmen, dass das körperliche Training einen eher unspezifischen, das kognitive Training einen spezifischen Trainingseffekt erzeugt hat. Dies lässt vermuten, dass eine Kombination von beiden Trainingsarten einen besonders starken Gesamteffekt auf kognitive Funktionen bewirken würde.

Die Studie konnte somit einen Beitrag dazu leisten, die Unterschiede in der kognitiven Verarbeitung Jüngerer und Älterer zu durchleuchten. Sie lieferte außerdem Hinweise darauf, dass sowohl körperliches aber in noch höherem Maße kognitives Training dazu beitragen kann, Leistungsdefizite Älterer zu reduzieren.

Mit dem Alterungsprozess ist eine Veränderung der Morphologie verknüpft, in welche die Prozesse eingebettet werden müssen. Durch gezieltes Training kann die Anpassung an das bestehende System verbessert werden. Kognitives Training scheint besonders geeignet zu sein, da es das Training gerade jener exekutiven Funktionen ermöglicht, die für die Verhaltenssteuerung in vielen Situationen von entscheidender Bedeutung sind. Kognitives Training bietet somit eine Möglichkeit, das unabhängige Leben Älterer in unserer komplexen Gesellschaft zu fördern.

## 7 Literaturverzeichnis

- Allport, A., Styles, E.A. & Hsieh, S. (1994). Shifting Intentional Set: Exploring the Dynamic Control of Tasks. In C. Umiltà & M. Moscovitch (Hrsg.), *Attention and Performance XV*, (S. 421-452). Cambridge/London: MIT Press.
- Anderer, P., Semlitsch, H. & Saletu, B. (1996). Multichannel Auditory event-related Brain Potentials: Effects of Normal Aging on the Scalp Distribution of N1, P2, N2 and P300 Latencies and Amplitudes. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 99, 458-472.
- Angevaren, M., Aufdemkampe, G., Verhaar, H.J.J., Aleman, A. & Vanhees, L. (2008). Physical Activity and Enhanced Fitness to Improve Cognitive Function in Older People Without Known Cognitive Impairment. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 3, CD005381.
- Appelbaum, L.G., Meyerhoff, K.L. & Woldorff, M.G. (2009). Priming and Backward Influences in the Human Brain: Processing Interactions During the Stroop Interference Effect. *Cerebral Cortex*, 19, 2508-2521.
- Astle, D.E., Jackson, G.M. & Swinson, R. (2008). Fractionating the Cognitive Control Required to Bring about a Change in Task: A Dense-Sensor Event-Related Potential Study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(2), 255-267.
- Atkinson, C.M., Drysdale, K.A. & Fulham, W.R. (2003). Event-Related Potentials to Stroop and Reverse Stroop Stimuli. *International Journal of Psychophysiology*, 47, 1-21.
- Autorengruppe Bildungsberichterstattung (2012). *Bildung in Deutschland 2012, Ein indikatorengestützter Bericht mit einer Analyse zur kulturellen Bildung im Lebenslauf*. Bielefeld: Bertelsmann.
- Baddeley, A.D. (2000). The Episodic Buffer: A New Component of Working Memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417-423.
- Baddeley, A.D., Hitch, G.J. (1974). Working Memory. In G.A. Bower (Hrsg.), *Recent Advances in Learning and Motivation*, (Vol. 8., S. 47-89). New York: Academic Press.
- Bäckman, L., Lindenberger, U., Li, S.-C. & Nyberg, L. (2010). Linking Cognitive Aging to Alterations in Dopamine Neurotransmitter Functioning: Recent Data and Future Avenues. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 34, 670-677.
- Baker, L.D., Frank, L.L., Foster-Schubert, K., Green, P.S., Wilkinson, C.W., McTiernan, A., Plymate, S.R., Fishel, M.A., Watson, G.S., Cholerton, B.A., Duncan, G.E., Metha, P.D. & Craft, S. (2010). Effects of Aerobic Exercise on Mild Cognitive Impairment: A Controlled Trial, *Archives of Neurology* 201, 67(1), 71-79.

- Ball, K., Berch, D.B., Helmers, K.F., Jobe, J.B., Leveck, M.D., Marsiske, M., Morris, J.N., Rebok, G.W., Smith, D.M., Tennstedt, S.L., Unverzagt, F.W. & Willis, S.L. (2002). Effects of Cognitive Training Interventions With Older Adults. *Journal of the American Medical Association*, 288(18), 2271-2281.
- Baltes, P.B. (1987). Theoretical Propositions of Life-Span Developmental Psychology: On the Dynamics Between Growth and Decline. *Developmental Psychology*, 23(5), 611-626.
- Baltes, P.B. (1990). Entwicklungspsychologie der Lebensspanne, Theoretische Leitsätze. *Psychologische Rundschau*, 41, 1-24.
- Baltes, P.B. (1999). Alter und Altern als unvollendete Architektur der Humanontogenese. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 32, 433-448.
- Baltes, P.B., Reese, H.W. & Lipsitt, L.P. (1980). Life-Span Developmental Psychology. *Annual Review of Psychology*, 31, 65-110.
- Baltes, P.B., Staudinger, U.M. & Lindenberger, U. (1999). Lifespan Psychology: Theory and Application to Intellectual Functioning. *Annual Review of Psychology*, 50, 471-507.
- Basak, C., Boot, W.R., Voss, M.W. & Kramer, A.F. (2008). Can Training in a Real-Time Strategy Video Game Attenuate Cognitive Decline in Older Adults? *Psychology and Aging*, 23(4), 765-777.
- Bashore, T.R., Ridderinkhof, K.R. & van der Molen, M.W. (1997). The Decline of Cognitive Processing Speed in Old Age. *Current Directions in Psychological Science*, 6(6), 163-169.
- Beck, E.C., Swanson, C., & Dustman, R.E. (1980). Long Latency Components of the Visually Evoked Potential in Man: Effects of Aging. *Experimental Aging Research*, 6, 6.
- Bherer, L., Kramer, A.F., Peterson, M.S., Colcombe, S., Erickson, K., & Bécic, E. (2005). Training Effects on Dual-Task Performance: Are There Age-Related Differences in Plasticity of Attentional Control? *Psychology and Aging*, 20, 695-709.
- Birren, J.E. (1974). Translations in Gerontology: From Lab to Life: Psychophysiology and Speed of Response. *American Psychologist*, 29(11), 808-815.
- Brehmer, Y., Westerberg, H. & Bäckman, L. (2012). Working-Memory Training in Younger and Older Adults: Training Gains, Transfer, and Maintenance. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 63.
- Brown, S.B. & Ridderinkhof, K.R. (2009). Aging and the Neuroeconomics of Decision Making: A Review. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 9(4), 365-379.

- Bryan, J. & Luszcz, M.A. (2010). Measurement of Executive Function: Considerations for Detecting Adult Age Differences. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 22(1), 40-55.
- 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(1), 9-16.
- Bugos, J.A., Perlstein, W.M., McCrae, C.S., Brophy, T.S. & Bedenbaugh, P.H. (2007). Individualized Piano Instruction Enhances Executive Functioning and Working Memory in Older Adults. *Aging and Mental Health*, 11(4), 464-471.
- Buitenweg, J.I.V., Murre, J.M.J. & Ridderinkhof, K.R. (2012). Brain Training in Progress: A Review of Trainability in Healthy Seniors. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6(183), 1-11.
- Bundesagentur für Arbeit (Hrsg.): *Perspektive 2025: Fachkräfte für Deutschland*, Nürnberg 2011.
- Cabeza, R. (2001). Functional neuroimaging of cognitive aging. In R. Cabeza und A. Kingstone (Hrsg.). *Handbook of Functional Neuroimaging of Cognition* (S. 331–377). Cambridge, MA: MIT Press.
- 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.
- Cassavaugh, N.D. & Kramer, A.F. (2009). Transfer of Computer-Based Cognitive Training to Simulated Driving in Older Adults. *Applied Ergonomics*, 40, 943–952.
- Cattell, R.B. (1980). The Heritability of Fluid,  $g_f$ , and Crystallised,  $g_c$ , Intelligence, Estimated by a Least Squares Use of the Mava Method. *British Journal of Educational Psychology*, 50, 253–265.
- Cepeda, N.J., Kramer, A.F. & Gonzeles de Sather, J.C.M. (2001). Changes in Executive Control Across the Life Span: Examination of Task-Switching Performance. *Developmental Psychology*, 37(5), 715-730.
- Cerella, J. (1990). Aging and Information-Processing Rate. In J.E. Birren und K.W. Schaie, K. Warner (Hrsg.), *Handbook of the Psychology of Aging* (3rd ed., S. 201-221). San Diego, CA: Academic Press.
- Coderre, E., Conklin, K. & van Heuven, W.J.B. (2011). Electrophysiological Measures of Conflict Detection and Resolution in the Stroop Task. *Brain Research*, 1413, 51-59.
- Cohen, J.D., Dunbar, K. & McClelland, J.L. (1990). On the Control of Automatic Processes: A Parallel Distributed Processing Model of the Stroop Effect. *Psychological Review*, 97(3), 332–361.

- Colcombe, S. & Kramer A.F. (2003). Fitness Effects on the Cognitive Function of Older Adults: A Meta-Analytic Study. *Psychological Science*, 14, 125–130.
- Colcombe, S.J., Kramer, A.F., Erickson, K.I., Scalf, .P, McAuley, E., Cohen, N.J., Webb, A., Jerome, G.J., Marquez, D.X. & Elavsky, S. (2004). Cardiovascular Fitness, Cortical Plasticity, and Aging. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, 101, 3316-3321.
- Dempster, F.N. (1992). The Rise and Fall of the Inhibitory Mechanism: Toward a Unified Theory of Cognitive Development and Aging. *Developmental Review*, 12, 45-75.
- Dempster, F.N., Corkill, A.J. (1999). Interference and Inhibition in Cognition and Behavior: Unifying Themes for Educational Psychology. *Educational Psychology Review*, 11(1), 1-88.
- Drew, B., & Waters, J. (1986). Video Games: Utilization of a Novel Strategy to Improve Perceptual Motor Skills and Cognitive Functioning in the Noninstitutionalized Elderly. *Cognitive Rehabilitation*, 4(2), 26-34.
- Duncan-Johnson, C.C., & Kopell, B.S. (1981). The Stroop Effect: Brain Potentials Localize the Source of Interference. *Science*, 214, 938–940.
- Dustman, R., Emmerson, R., & Shearer, D. (1994). Physical Activity, Age, and Cognitive Neuropsychological Function. *Journal of Aging and Physical Activity*, 2, 143–181.
- Dustman, R.E., Ruhling, R.O., Russell, E.M., Shearer, D.E., Bonekat, W., Shigeoka, J.W., Wood, J.S., & Bradford, D.C. (1984). Aerobic Exercise Training and Improved Neurophysiological Function of Older Adults. *Neurobiology of Aging*, 5, 35–42.
- Eppinger, B., Kray, J., Mecklinger, A., & John, O. (2007). Age Differences in Task Switching and Response Monitoring: Evidence from ERPs. *Biological Psychology*, 75, 52–67.
- Fabre, C., Chamari, K., Mucci, P., Masse-Biron, J. & Prefaut, C. (2002). Improvement of Cognitive Function by Mental and/or Individualized Aerobic Training in Healthy Elderly Subjects. *International Journal of Sports Medicine*, 23(6), 415–21.
- Fagot, C. (1994). *Chronometric Investigations of Task Switching*. Ph.D. Thesis, University of California, San Diego, CA, USA.
- Falkenstein, M. (1997). *Hirnelektrische Korrelate von Informationsverarbeitungsprozessen bei Reaktionsaufgaben*. Frankfurt am Main: Peter Lang GmbH, Europäischer Verlag der Wissenschaften.
- Falkenstein, M. (2007). Stärken und Potentiale Älterer aus Sicht von Neuropsychologie und Neurophysiologie. In Marie-Luise und Ernst Becker Stiftung (Hrsg.): *Tagungsband: Vom Defizit- zum Kompetenzmodell –*

- Stärken älterer Arbeitnehmer erkennen und fördern* (S. 31-39). Köln: Marie-Luise und Ernst Becker Stiftung.
- Falkenstein, M., Hohnsbein, J., Hoormann, J. & Blanke, L. (1990). Effects of Errors in Choice Reaction Tasks on the ERP under Focused and Divided Attention. In C.H.M. Brunia, A.W.K. Gaillard & A. Kok (Hrsg.), *Psychophysiological Brain Research* (S. 192–195). Tilburg: Tilburg University Press.
- Falkenstein, M., Hohnsbein, J., Hoormann, J. & Blanke, L. (1991). Effects of Crossmodal Divided Attention on Late ERP Components. II. Error Processing in Choice Reaction Tasks. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 78, 447–455.
- Fillit, H.M., Butler, R.N. & O'Connell, A.W. et al. (2002). Achieving and Maintaining Cognitive Vitality with Aging. *Mayo Clinic Proceedings*, 77, 681–96.
- Folstein, J.R. & van Petten, C. (2008). Influence of Cognitive Control and Mismatch on the N2 Component of the ERP: A Review. *Psychophysiology*, 45, 152–170.
- Forstmann, B.U., Brass, M., Koch, I., & von Cramon, D.Y. (2006). Voluntary Selection of Task Sets Revealed by Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI). *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18, 388-398.
- Friedman, N.P., Miyake, A. (2004). The Relations Among Inhibition and Interference Control Functions: A Latent-Variable Analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133(1), 101-135.
- Gajewski, P.D. & Falkenstein, M. (2011). Diversity of the P3 in the Task-Switching Paradigm. *Brain Research*, 1411, 87-97.
- Gajewski, P.D., Kleinsorge, T. & Falkenstein, M. (2010b). Electrophysiological Correlates of Residual Switch Costs. *Cortex*, 46, 1138-1148.
- Gajewski, P.D., Wild-Wall, N., Hoffmann, S & Falkenstein, M. (2009). Ereigniskorrelierte Potenziale: Ansatz, Parametrisierung und Analyseverfahren. *Neuroforum : Perspektiven der Hirnforschung*, (15), 124-129.
- Gajewski, P.D., Wild-Wall, N., Schapkin, S.A., Erdmann, U., Freude, G. & Falkenstein, M. (2010a). Effects of Aging and Job Demands on Cognitive Flexibility Assessed by Task Switching. *Biological Psychology*, 85, 187-199.
- Gerloff, C. (2005). Ereignis-korrelierte Potenziale (EKP). In M. Stöhr, J. Dichgans U. Buettner, C. Hess & E. Altenmüller (Hrsg.), *Evozierte Potentiale* (S. 499-538). Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- Goffaux, P., Phillips, N.A., Sinai, M. & Pushkar, D. (2006). Behavioural and Electrophysiological Measures of Task Switching During Single and Mixed-Task Conditions. *Biological Psychology*, 72, 278-290.

- Goschke, T. (2000). Intentional Reconfiguration and Involuntary Persistence in Task Set Switching. In S. Monsell & J. Driver (Hrsg.), *Control of Cognitive Processes, Attention and Performance XVIII*, Cambridge/London: MIT Press, 331-335.
- Grossmann, I., Na, J., Venum, M.E., Park, D.C., Kitayama, S., Nisbett, R.E. (2010). Reasoning about Social Conflicts improves into Old Age. *Proceedings off the National Academy of Sciences, USA*, 107(16), 7246-7250.
- Harnishfeger, K.K. & Bjorklund, D.F. (1994). A Developmental Perspective on Individual Differences in Inhibition. *Learning and Individual Differences*, 6(3), 331-355.
- Harvey, N. (1984). The Stroop Effect: Failure to Focus Attention or Failure to Maintain Focusing? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A: Human Experimental Psychology*, 36(1), 89-115.
- Hasher, L. & Zacks, R.T. (1988). Working Memory, Comprehension and Aging: A Review and a New View. In G. H. Bower (Hrsg.), *The Psychology of Learning and Motivation* (S. 193-225). New York: Academic Press.
- Hill, R.D., Storandt, M. & Malley, M. (1993). The Impact of Long-Term Exercise Training on Psychological Function in Older Adults. *Journal of Gerontology*, 48, 12-17.
- Hoffmann, S. & Falkenstein, M. (2010). Independent Component Analysis of Erroneous and Correct Responses Suggests Online Response Control. *Human Brain Mapping*, 3, 1305-1315.
- Hohnsbein, J., Falkenstein, M., Hoormann, J. (1989). Error Processing in Visual and Auditory Choice Reaction Tasks. *Journal of Psychophysiology*, 3, 320.
- Hommel, B. (2002). Planungen und exekutive Kontrolle von Handlungen. In J. Müsseler & W. Prinz (Hrsg.), *Allgemeine Psychologie* (S. 795-863). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Horn, J.L. (1968). Organization of Abilities and the Development of Intelligence. *Psychological Review*, 75(3), 242-259.
- Horn, J.L. & Cattell, R.B. (1967). Age Differences in Fluid and Crystallized Intelligence. *Acta Psychologica*, 67, 107-129.
- Hsieh, S. & Wu, M. (2011). Electrophysiological Correlates of Preparation and Implementation for Different Types of Task Shifts. *Brain Research*, 1423, 41-52.
- Ilan, A.B. & Polich, J. (1999). P300 and Response Time from a Manual Stroop Task. *Clinical Neurophysiology*, 110, 367-373.
- Jersild, A.T. (1927). Mental Set and Shift. *Archives of Psychology*, 89, 81.

- Jobe, J.B., Smith, D.M., Ball, K., Tennstedt, S. L., Marsiske, M., Willis, S.L., Rebok, G.W., Morris, J.N., Helmers, K.F., Leveck, M.D. & Kleinman, K. (2001). ACTIVE: A Cognitive Intervention Trial to Promote Independence in Older Adults. *Controlled Clinical Trials*, 22(4), 453-479.
- Jost, K., Mayr, U. & Rösler, F. (2008). Is Task Switching Nothing But Cue Priming? Evidence from ERPs. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 8(1), 74-84.
- Kane, M.J. & Engle, R.W. (2003). Working-Memory Capacity and the Control of Attention: The Contributions of Goal Neglect, Response Competition, and Task Set to Stroop Interference. *Journal of Experimental Psychology: General*, 132(1), 47-70.
- Karayanidis, F., Coltheart, M., Michie, P. T., & Murphy, K. (2003). Electrophysiological Correlates of Anticipatory and Poststimulus Components of Task Switching. *Psychophysiology*, 40, 329–348.
- Karayanidis, F., Jamadar, S., Ruge, H., Phillips, N., Heathcote, A. & Forstmann, B.U. (2010). Advance Preparation in Task-Switching: Converging Evidence From Behavioral, Brain Activation, and Model-Based Approaches. *Frontiers in Psychology*, 25, 1–13.
- Karayanidis, F., Provost, A., Brown, S., Paton, B. & Heathcote, A. (2011a). Switch-Specific and General Preparation Map onto Different ERP Components in a Task-Switching Paradigm. *Psychophysiology*, 48, 559-568.
- Karayanidis, F., Whitson, L.R., Heathcote, A., Michie, P.T. (2011b). Variability in Proactive and Reactive Cognitive Control Processes Across the Adult Lifespan. *Frontiers in Psychology*, 2, 1-19.
- Karbach, J. & Kray, J. (2009). How Useful Is Executive Control Training? Age Differences in Near and Far Transfer of Task-Switching Training. *Developmental Science*, 12, 978–990.
- Kerns, J.G., Cohen, J.D., MacDonald III, A.W., Cho, R.Y., Stenger, V.A. & Carter, C.S. (2004). Anterior Cingulate Conflict Monitoring and Adjustments in Control. *Science*, 303, 1023-1026.
- Kieffaber, P.D. and Hetrick, W.P. (2005), Event-Related Potential Correlates of Task Switching and Switch Costs. *Psychophysiology*, 42, 56–71.
- Kiesel, A., Steinhauser, M., Wendt, M., Falkenstein, M., Jost, K., Philipp, A. & Koch, I. (2010). Control and Interference in Task-Switching – a Review. *Psychological Bulletin*, 136(5), 849-874.
- Klauer, K.J. (2008). *Denksport für Ältere*. Bern: Verlag Hans Huber.
- Klusmann, V., Evers, A., Schwarzer, R., Schlattmann, P., Reischies, F.M., Heuser, I. & Dimeo, F.C. (2010) Complex Mental and Physical Activity in

- Older Women and Cognitive Performance: A 6-Month Randomized Controlled Trial. *Journal of Gerontology: Medical Sciences*, 65(6), 680–688.
- Kok, A. (1999). Varieties of Inhibition: Manifestations in Cognition, Event-Related Potentials and Aging. *Acta Psychologica*, 101, 129-158.
- Kopp, B., Rist, F. & Mattler, U. (1996). N200 in the Flanker Task as a Neurobehavioral Tool for Investigating Executive Control. *Psychophysiology*, 33, 282–294.
- Kramer, A.F., Colcombe, S.J., McAuley, E., Eriksen, K.I., Scalf, P., Jerome, G.J., Marquez, D.X., Elavsky, S. & Webb, A.G. (2003). Enhancing Brain and Cognitive Function of Older Adults through Fitness Training. *Journal of Molecular Neuroscience*, 20, 213–221.
- Kramer, A.F. & Erickson K.I. (2007). Capitalizing on Cortical Plasticity: Influence of Physical Activity on Cognition and Brain Function. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(8), 342–348.
- Kramer, A.F., Hahn, S. & Gopher, D. (1999). Task Coordination and Aging: Explorations of Executive Control Processes in the Task Switching Paradigm. *Acta Psychologica*, 10, 339–378.
- Kramer, A.F., Larish, J., Weber, T. & Bardell, L. (1999). Training for Executive Control: Task Coordination Strategies and Aging. In D. Gopher & A. Koriati (Hrsg.), *Attention and Performance XVII* (S. 617–652). Cambridge, MA: MIT Press.
- Kramer A.F. & Morrow D.G. (in press). Cognitive Training and Expertise. In D. Park & N. Schwartz (Hrsg.), *Cognitive Aging: A. Primer*. Philadelphia, PA: Psychology Press.
- Kray, J. (2006). Task-Set Switching under Cue-Based Versus Memory-Based Switching Conditions in Younger and Older Adults. *Brain Research*, 1105, 83–92.
- Kray, J., Eppinger, B. & Mecklinger, A. (2005). Age Differences in Attentional Control: An Event-Related Potential Approach. *Psychophysiology*, 42, 407-416.
- Kray, J., Li, K.Z., Lindenberger, U. (2002). Age-Related Changes in Task-Switching Components: The Role of Task Uncertainty. *Brain and Cognition*, 49, 363–381.
- Kray, J. & Lindenberger, U. (2000). Adult Age Differences in Task Switching. *Psychology and Aging*, 15(1), 126-147.
- Kray, J. & Lindenberger, U. (2007). Fluide Intelligenz. In J. Brandtstädter und U.Lindenberger (Hrsg.), *Entwicklungspsychologie der Lebensspanne: Ein Lehrbuch* (S. 194-220). Stuttgart: Kohlhammer.

- Larson, M.J., Kaufman, D.A.S. & Perlstein, W.M. (2009). Neural Time Course of Conflict Adaptation Effects on the Stroop Task. *Neuropsychologia*, 47, 663-670.
- Larson, E.B., Wang, L., Bowen, J.D, McCormick, W.C., Teri, L., Crane, P. & Kukull, W. (2006). Exercise Is Associated with Reduced Risk for Incident Dementia among Persons 65 Years of Age and Older. *Annals of Internal Medicine*, 144, 73–81.
- Lautenschlager, N.T., Cox, K.L., Flicker, L., Foster, J.K., van Bockxmeer, F.M., Xiao, J., Greenop, K.R. & Almeida, O.P. (2008). Effect of Physical Activity on Cognitive Function in Older Adults at Risk for Alzheimer Disease: A Randomized Trial, *Journal of the American Medical Association*, 300, 1027–1037.
- Lilley, J.M., Arie, T. & Chilvers, C.E.D. (1995). Special Review Accidents Involving Older People: A Review of the Literature. *Age and Aging*, 24, 346-365.
- Lindenberger, U. (2008). Was ist kognitives Altern? Begriffsbestimmung und Forschungstrends. In U. Staudinger und H. Häfner (Hrsg.), *Was ist Alter(n)?* (S. 69-82). Heidelberg: Springer.
- Lindenberger, U. (2007). Historische Grundlagen: Johann Nicolaus Tetens als Wegbereiter des Lebensspannen-Ansatzes in der Entwicklungspsychologie. In J. Brandtstädter und U.Lindenberger (Hrsg.), *Entwicklungspsychologie der Lebensspanne: Ein Lehrbuch* (S. 9-33). Stuttgart: Kohlhammer.
- Lindenberger, U. & Kray, J. (2005). Kognitive Entwicklung. In S.-H. Filipp und U. Staudinger (Hrsg.), *Entwicklungspsychologie des mittleren und höheren Erwachsenenalter* (S. 299-341). Göttingen: Hogrefe.
- Lindenberger, U. & Schäfer, S. (2008). Erwachsenenalter und Alter. In R. Oerter und L. Montada (Hrsg.), *Entwicklungspsychologie* (S. 366-409). Weinheim: Beltz.
- Liotti, M., Woldorff, M.G., Perez, R. & Mayberg, H.S. (2000). An ERP Study of the Temporal Course of the Stroop Color-Word Interference Effect. *Neuropsychologia*, 38, 701-711.
- Lippke, S. & Renneberg, B. (2006). Theorien und Modelle des Gesundheitsverhaltens. In B. Renneberg & P. Hammelstein (Hrsg.). *Gesundheitspsychologie*. Berlin: Springer.
- Logan, G.D. (1988). Toward an Instance Theory of Automatization. *Psychological Review*, 95(4), 492-527.
- Logan, G.D. (2004). Working Memory, Task Switching and Executive Control in the Task Span Procedure. *Journal of Experimental Psychology: General*. 133(2), 218-236.

- Logan, G.D. & Zbrodoff (1979). When it Helps to Be Misled: Facilitative Effects of Increasing the Frequency of Conflicting Stimuli in a Stroop-Like Task. *Memory & Cognition*, 7(3), 166-174.
- Lorist, M.M., Klein, M., Nieuwenhuis, S., de Jong, R., Mulder, G. & Meijman, T.F. (2000). Mental Fatigue and Task Control: Planning and Preparation. *Psychophysiology*, 37, 614–625.
- Lustig, C., Shah, P., Seidler, R. & Reuter-Lorenz, P. (2009). Aging, Training, and the Brain: A Review and Future Directions. *Neuropsychology Review*, 19(4), 504-522.
- Mager, R., Bullinger, A.H., Brand, S., Schmidlin, M., Schärli, H., Müller-Spahn, F., Störmer, R. & Falkenstein, M. (2007). Age-Related Changes in Cognitive Processing: An Event-Related Potential Study. *Neurobiology of Aging*, 28, 1925–1935.
- Mayr, U. (2001). Age Differences in the Selection of Mental Sets: The Role of Inhibition, Stimulus Ambiguity, and Response-Set Overlap. *Psychology and Aging*, 16(1), 96-109.
- Mayr, U. & Liebscher, T. (2001). Is There an Age Deficit in the Selection of Mental Sets? *European Journal of Cognitive Psychology*, 13(1-2), 47-69.
- MacDonald, A.W., Cohen, J.D., Stenger, V.A., Carter, C.S. (2000). Dissociating the Role of Dorsolateral Prefrontal Cortex and Anterior Cingulate Cortex in Cognitive Control. *Science*, 288,1835–38.
- MacLeod, C.M., Dodd, M.D., Sheard, E.D., Wilson, D.E. & Bibi, U. (2003). In Opposition to Inhibition. In B.H. Ross (Hrsg.), *The Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 43., S. 163-214). San Diego, CA: Academic Press.
- MacPhearson, S.E., Philips, L.H & Della Sala, S. (2002). Age, Executive Function, and Social Decision Making: A Dorsolateral Prefrontal Theory of Cognitive Aging. *Psychology and Aging*, 17(4), 598–609.
- Matsumoto, M. & Nishimura, T. (1998). Mersenne Twister: A 623-Dimensionally Equidistributed Uniform Pseudorandom Number Generator. *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation*, 8(1), 3–30.
- Meiran, N. (1996). Reconfiguration of Processing Mode Prior to Task Performance. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 22(6), 1423-1442.
- Meiran, N., Gotler, A., & Perlman, A. (2001). Old Age is Associated with a Pattern of Relatively Intact and Relatively Impaired Task-Set Switching Abilities. *Journals of Gerontology: Psychological Sciences and Social Sciences*, 56, 88–102.
- Milham, M.P. & Banich, M.T. (2005). Anterior Cingulate Cortex: An fMRI Analysis of Conflict Specificity and Functional Differentiation. *Human Brain Mapping*, 25, 328-335.

- Miyake, A., Friedmann, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A. & Wagner, T. D. (2000). The Unity and Diversity of Executive Functions and their Contributions to Complex "Frontal Lobe" Tasks: A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49-100.
- Moulden, D.J.A., Picton, T.W., Meiran, N., Stuss, D.T., Riera, J.J., Valdes-Sosa, P. (1998). Event-Related Potentials When Switching Attention Between Task-Sets. *Brain and Cognition*, 37(1), 186-190.
- Mueller, S.C., Swainson, R. & Jackson, G.M. (2007). Behavioural and Neurophysiological Correlates of Bivalent and Univalent Responses During Task Switching. *Brain Research*, 1157, 56-65.
- Nicholson, R., Karayanidis, F., Davies, A. & Michie, P.T. (2006) Components of Task-Set Reconfiguration: Differential Effects of 'Switch-to' and 'Switch-away' Cues. *Brain Research*, 1121, 160–176.
- Nicholson, R., Karayanidis, F., Poboka, D., Heathcote, A., & Michie, P. T. (2005). Electrophysiological Correlates of Anticipatory Task-Switching Processes. *Psychophysiology*, 42, 540 –554.
- Nigg, J.T. (2000). On Inhibition/Disinhibition in Developmental Psychopathology: Views from Cognitive and Personality Psychology and a Working Inhibition Taxonomy. *Psychological Bulletin*, 126(2). 220-246.
- Norman, D. A. & Shallice, T. (1986). Attention to Action: Willed and Automatic Control of Behaviour. In R. Davison, G. Schwartz & D. Shapiro (Hrsg.), *Consciousness and Self-Regulation: Advances in Research and Theory* (S. 1-18). New York: Plenum.
- Nouchi, R., Taki, Y., Takeuchi, H., Hashizume, H., Akitsuki, Y., Shigemune, Y., Sekiguchi, A., Kotozaki, Y., Tsukiura, T., Yomogida, Y. & Kawashima, R. (2012) Brain Training Game Improves Executive Functions and Processing Speed in the Elderly: A Randomized Controlled Trial. *Public Library of Science*, 7(1).
- O'Connell, R.G., Balsters, J.H., Kilcullen, S.M., Campbell, W., Bokde, A.W., Lai, R., Upton, N., Robertson, I.H. (2012). A Simultaneous ERP/fMRI Investigation of the P300 Aging Effect. *Neurobiology of Aging*, 33, 2448–2461.
- Oostenveld, R. & Praamstra, P. (2001). The Five Percent Electrode System for High-Resolution EEG and ERP Measurements. *Clinical Neurophysiology* 112, 713-719.
- Oswald, W.D. (2000). Sind Alter und Altern meßbar? *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 33(1), 8-14.
- Oswald, W.D., Rupperecht, R., Gunzelmann, T. & Tritt, K. (1996). The SIMA-Project: Effects of 1 Year Cognitive and Psychomotor Training on Cognitive Abilities of the Elderly. *Behavioural Brain Research*, 78, 67-72.

- Owen, A.M., Hampshire, A., Grahn, J.A., Stenton, R. & Dajani, S. (2010). Putting Brain Training to the Test. *Nature*, 465(10), 775-778.
- Packwood, S., Hodgetts, H.M. & Tremblay, S. (2011). A Multiperspective Approach to the Conceptualization of Executive Functions, *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 33(4), 456-470.
- Pashler, H., Johnston, J.C. & Ruthruff, E. (2001). Attention and Performance. *Annual Review of Psychology*, 52, 629-651.
- Paus, T. (2001). Primate Anterior Cingulate Cortex: Where Motor Control, Drive and Cognition Interface. *Nature Reviews Neuroscience*, 2, 417-424.
- Perig-Chello, P., Perig, W.J., Ehram, R., Staehelin, H.B. & Krings, F. (1998). The Effect of Resistance Training on Well-Being and Memory in Elderly Volunteers. *Age and Aging*, 27, 469-475.
- Picton, T.W., Bentin, S., Berg, P., Donchin, E., Hillyard, S.A., Johnson, Jr. R., Miller, G.A., Ritter, W., Ruchkin, D.S., Rugg, M.D. & Taylor, M.J. (2000). Guidelines for Using Human Event-Related Potentials to Study Cognition: Recording Standards and Publication Criteria. *Psychophysiology*, 37, 127-52.
- Plemons, J.K., Willis, S.L. & Baltes, P.B. (1978). Modifiability of Fluid Intelligence in Aging: A Short-Term Longitudinal Training Approach. *Journal of Gerontology*, 33, 224-231.
- Polich, J. (1996). Meta-Analysis of P300 Normative Aging Studies. *Psychophysiology*, 33, 334-353.
- Polich, J. (1997). EEG and ERP Assessment of Normal Aging. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 104, 244-256.
- Polich, J. (2007). Updating P300: An Integrative Theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, 118 (10), 2128-2148.
- Polich, J. & Criado, J.R. (2006). Neuropsychology and Neuropharmacology of P3a and P3b. *International Journal of Psychophysiology*, 60, 172-185.
- Posner, M. I. & Snyder, C. R. R. (1975). Attention and Cognitive Control. In R. L. Solso (Hrsg.), *Information processing and cognition: The Loyola symposium* (S. 55-85). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Pritzel, M., Brand, M., Markowitsch, H.J. (2003). Methoden der Hirnforschung. In *Gehirn und Verhalten, ein Grundkurs der physiologischen Psychologie* (S. 97-136). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Raz, N. (2000). Aging of the Brain and its Impact on Cognitive Performance: Integration of Structural and Functional Findings. In F.I.M Craik und T.A. Salthouse (Hrsg.), *Handbook of Aging and Cognition II* (S. 1-90). Mahwah, NJ: Erlbaum.

- Rebai, M., Bernard, C. & Lannou, J. (1997). The Stroop's Test Evokes a Negative Brain Potential, the N400. *International Journal of Neuroscience*, 91(1-2), 85-94.
- Rebok G.W., Carlson M.C., Langbaum J.B.S. (2007). Training and Maintaining Memory Abilities in Healthy Older Adults: Traditional and Novel Approaches. *Journals of Gerontology: SERIES B*, 62b (Special Issue I), 53–61.
- Reuter, I. & Engelhardt, M. (2010). Kann Sport den Verlust kognitiver Funktionen im Alter verhindern? *Sport-Orthopädie - Sport-Traumatologie*, 26, 216-226.
- Reuter-Lorenz, P.A. & Cappell, C.A. (2008). Neurocognitive Aging and the Compensation Hypothesis. *Current Directions in Psychological Science*, 17(3), 177-182.
- Ridderinkhof, K.R., van den Wildenberg, W.P.M., Segalowitz, S.J. & Carter, C.S. (2004). Neurocognitive Mechanisms of Cognitive Control: The Role of Prefrontal Cortex in Action Selection, Response Inhibition, Performance Monitoring, and Reward-Based Learning. *Brain and Cognition*, 56, 129–140.
- Rogers, R.D., Monsell, S. (1995). The Costs of a Predictable Switch Between Simple Cognitive Tasks. *Journal of Experimental Psychology: General*, 124(2), 207-231.
- Rubin, O. & Meiran, N. (2005). On the Origins of the Task Mixing Cost in the Cuing Task-Switching Paradigm. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 31(6), 1477-1491.
- Rüsseler, J. & Münte, T.F. (2005). Kognitive Potenziale (ereigniskorrelierte Potenziale, EKP). In H. Buchner & J. Noth (Hrsg.), *Evozierte Potenziale, Neurovegetative Diagnostik, Okulographie: Methodik und klinische Anwendungen* (S.80-94). Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Rushworth, M.F., Passingham, R.E. & Nobre, A.C. (2002). Components of Switching Intentional Set. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(8), 1139–1150.
- Rypma, B. & D'Esposito, M. (2000). Isolating the Neural Mechanisms of Age-Related Changes in Human Working Memory. *Nature Neuroscience*, 3(5), 509–515.
- Salthouse, T.A. (1996). The Processing-Speed Theory of Adult Age Differences in Cognition. *Psychological Review*, 103(3), 403-428.
- Salthouse, T.A., Fristoe, N., McGuthry, K.E., Hambrick, D.Z. (1998). Relation of Task Switching to Speed, Age, and Fluid Intelligence. *Psychology and Aging*, 13, 445–461.
- Schaie, K.W. & Willis, S.L. (1986). Can Decline in Adult Intellectual Functioning be Reversed? *Developmental Psychology*, 22, 223–232.

- Schneider, W., & Shiffrin, R.M. (1977). Controlled and Automatic Human Information Processing: I. Detection, Search and Attention. *Psychological Review*, 84, 1-66.
- Schneider-Garces N.J., Gordon B.A., Brumback-Peltz C.R., Shin E., Lee Y., Sutton B.P., Maclin E.L., Gratton G. & Fabiani M. (2010). Span, CRUNCH and beyond: Working Memory Capacity and the Aging Brain. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(4), 655-669.
- Schroots, J.J.F. (1996). Theoretical Developments in the Psychology of Aging. *The Gerontologist*, 36(6), 742-748.
- Schuster, L., Essig, M. & Schröder, J. (2010). Normales Altern und seine Bildgebungs-korrelate. *Der Radiologe*, 51, 266-272.
- Shiffrin, R.M., & Schneider, W. (1977). Controlled and Automatic Human Information Processing: II. Perceptual Learning, Automatic Attending and a General Theory. *Psychological Review*, 84, 127-190.
- Smith, E.E. & Jonides, J. (1999). Storage and Executive Processes in the Frontal Lobes. *Science*, 283, 1657-1661.
- Solso, R.L. (2005). *Kognitive Psychologie*. Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- Spector, A. & Biederman, I. (1976). Mental Set and Mental Shift Revisited. *American Journal of Psychology*, 89(4), 669-679.
- Spiriduso, W.W. (1975). Reaction and Movement Time as a Function of Age and Physical Activity Level. *Journal of Gerontology*, 30(4), 435-440.
- Spring, H., Dvorak, J., Dvorak, V., Schneider, W., Tritschler, T. & Villiger, B. (2005). *Theorie und Praxis der Trainingstherapie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.): *Bevölkerung Deutschlands bis 2060, 12. Koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung*. Wiesbaden 2009
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.): *Statistisches Jahrbuch 2011 für die Bundesrepublik Deutschland mit »Internationalen Übersichten«*. Wiesbaden 2011.
- Steinhauser, M. & Hübner, R. (2007). Automatic Activation of Task-Related Representations in Task Shifting, *Memory & Cognition*, 35(1), 138-155.
- Stroop, J.R. (1935). Studies of Interference in Serial Verbal Reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 643-662.
- Swainson, R., Jackson, S.R. & Jackson, G.M. (2006). Using Advance Information in Dynamic Cognitive Control: An ERP Study of Task-Switching. *Brain Research*, 1105, 61-72.

- Tetens, J.N. (1777). *Philosophische Versuche über die menschliche Natur und ihre Entwicklung*. Leipzig: Weidmanns Erben und Reich. (Nachdruck 1979, Hildesheim: Georg Olms).
- Tranter, L.J. & Koutstaal, W. (2008). Age and Flexible Thinking: An Experimental Demonstration of the Beneficial Effects of Increased Cognitively Stimulating Activity on Fluid Intelligence in Healthy Older Adults. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 15(2), 184-207.
- Van Veen, V & Carter, C.S. (2002). The Anterior Cingulate as a Conflict Monitor: fMRI and ERP Studies. *Psychology & Behavior*, 77, 477-482.
- Verhaeghen, P., Marcoen, A. & Goossens, L. (1992). Improving Memory Performance in the Aged through Mnemonic Training: A Meta-Analytic Study. *Psychology and Aging*, 7(2), 242–251.
- Volkow, N.D., Ding, Y.-S., Fowler, J.S., Wang, G.-J., Logan, J., Gatley, S.J., Hitzemann, R., Smith, G., Fields, S.D. & Gur, R. (1996). Dopamin Transporters Decrease with Age. *The Journal of Nuclear Medicine*, 37(4), 554-559.
- Wang, M.-Y., Chang, C.-Y. & Su, S.-Y. (2011). What's Cooking? – Cognitive Training of Executive Function in the Elderly. *Frontiers in Psychology*, 2(288), 1-11.
- West, R. (2003). Neural Correlates of Cognitive Control and Conflict Detection in the Stroop and Digit-Location Tasks. *Neuropsychologica*, 41, 1122-1135.
- West, R. (2004). The Effects of Aging on Controlled Attention and Conflict Processing in the Stroop Task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(1), 103-113.
- West, R. & Aain, C. (1999). Event-Related Neural Activity Associated With the Stroop Task. *Cognitive Brain Research*, 8, 157-164.
- West, R. & Alain, C. (2000). Age-Related Decline in Inhibitory Control Contributes to the Increased Stroop Effect Observed in Older Adults. *Psychophysiology*, 37(2), 179-189.
- West, R., Jakubek, K., Wymbs, N., Perry, M. & Moore, K. (2005). Neural Correlates of Conflict Processing. *Experimental Brain Research*, 167, 38–48.
- West, R., Langley, M.M. & Bailey, K. (2011). Signaling a Switch: Neural Correlates of Task Switching Guided by Task Cues and Transition Cues. *Psychophysiology*, 48, 612-623.
- West, R. & Moore, K. (2005). Adjustments of Cognitive Control in Younger and Older Adults. *Cortex*, 41, 447-616.
- West, R. & Travers, S. (2008). Differential Effects of Aging on Processes Underlying Task Switching. *Brain and Cognition*, 68, 67-80.

- Wickett, J.C. & Vernon, P.A. (1994). Peripheral Nerve Conduction Velocity, Reaction Time and Intelligence: An Attempt to Replicate Vernon and Mori (1992). *Intelligence*, 18, 127-131.
- Wilkinson, A.J. & Yang, L. (2011). Plasticity of Inhibition in Older Adults: Retest Practice and Transfer Effects. *Psychology and Aging* (Epub ahead of print).
- Willis, S.L., Tennstedt, S.L., Marsiske, M., Ball, K., Elias, J., Koepke, K.M., Morris, J.N., Rebok, G.W., Unverzagt, F.W., Stoddard, A.M. & Wright, E. (2006). Long-Term Effects of Cognitive Training on Everyday Functional Outcomes in Older Adults. *Journal of the American Medical Association*, 296, 2805–2814.
- Wingfield, A., Stine, E.A.L., Lahar, C.J. & Aberdeen, J.S. (1988). Does the Capacity of Working Memory Change with Age? *Experimental Aging Research*, 14(2), 103-107.
- Yordanova, J., Falkenstein, M., Hohnsbein, J. & Koley, V. (2004). Parallel Systems of Error Processing in the Brain. *Neuroimage*, 22, 590–602.

# Anhang

## Informationsblatt

### Sehr geehrte/r Teilnehmer/in!

Wir freuen uns, dass Sie bei unserem Projekt „**Training bei Senioren**“ mitmachen. Damit leisten Sie einen Beitrag zur Beantwortung der gesellschaftlich wichtigen Frage: Was tun, um im Alter geistig fit zu bleiben?

Was bieten wir Ihnen im Rahmen der Studie an?

- Ein kostenloses Training über 4 Monate
- Erfassung Ihres geistigen und körperlichen Status vor und nach dem Training
- Eine kostenlose Ernährungsberatung
- 100 Euro als ein kleines Dankeschön zum Abschluß der Studie

Es handelt sich bei dieser Studie um eine Untersuchung zur Wirksamkeit von unterschiedlichen Trainingsmaßnahmen auf die geistigen Funktionen von Senioren über 65. Neben der geistigen, wird auch Ihre körperliche Fitneß untersucht. Außerdem werden verschiedene Fragebögen zur ehemaligen beruflichen Tätigkeit, zum Lebensstil, zur Ernährung, täglichen Aktivitäten und Hobbies erhoben.

### Ablauf der Studie:

Frau Rietdorf macht mit Ihnen 3 Termine zur Voruntersuchung:

#### **Termin 1.** EEG-Untersuchung am IfADo (3,5 Stunden)

Ihre Hirnströme (EEG) werden abgeleitet, während Sie verschiedene Aufgaben bearbeiten. Zunächst wird Ihnen die EEG-Kappe mit den Elektroden aufgesetzt. Mittels Gel wird der Kontakt zwischen Kopfhaut und Elektrode hergestellt, um die die Hirnströme abzuleiten. Diese Signale werden aufgenommen während Sie am Bildschirm verschiedene Aufgaben zum Gedächtnis, Konzentration oder visueller Suche machen. Nach der Untersuchung können Sie bei uns Ihre Haare waschen. Bitte verwenden Sie vor der Untersuchung kein Haarspray, Haargel oder ähnliches.

An diesem Termin erhalten Sie Fragebögen, die Sie zu Hause ausfüllen. Diese bringen Sie zum 2. Termin bitte wieder mit.

#### **Termin 2.** Neuropsychologische Diagnostik am IfADo (1,5 Stunden)

Frau Rietdorf wird mit Ihnen verschiedene „Papier und Bleistift“ – Tests zur Untersuchung der Gedächtnisfunktionen und der allgemeinen Informationsverarbeitung durchführen.

#### **Termin 3.** Der Sport-Check im Fitness-Studio „Work-out Fitness“, Heiliger Weg 71-75, Dortmund (1,5 Stunden).

Ihre körperliche Leistungsfähigkeit soll getestet werden. Der Sportstudent Yves Cloos untersucht Ihren Puls, während Sie auf dem Fahrradergometer fahren.

Danach füllen Sie einen Fragebogen aus. Für diesen Termin bringen Sie bitte Sportbekleidung mit.

### **Training**

Zu Beginn 2009 (Januar/Februar/März) beginnt das Training. Alle Trainingsorte befinden sich in der Dortmunder Stadtmitte. Dabei werden die Teilnehmer in 4 Gruppen unterteilt:

1. Sporttraining (Ausdauer + Krafttraining + Aerobic). Work-Out Fitneßcenter
2. Entspannung (Gymnastik, Rückenschule, Toning, autogenes Training, Muskelrelaxation usw.). Gymnastikraum der VHS im Löwenhof,
3. Gehirnjogging (mentales Aktivierungsstraining, Gedächtnistraining, PC-Training). Wilhelm-Hansmann-Haus.
4. Kontrollgruppe. Diese Gruppe erhält zunächst kein Training und lebt die 4 Monate wie gewohnt weiter. Anschließend haben Sie die Möglichkeit an einem kombinierten Fitneß- und Gehirnttraining teilzunehmen.

Jede Trainingsmaßnahme findet 2mal wöchentlich in Kleingruppen von 12 Personen statt. Eine Trainingseinheit dauert jeweils 1,5 Stunden. Die Termine werden Ihnen spätestens im Januar 2009 mitgeteilt. Für den individuellen Trainingseffekt und damit den Studienerfolg ist es wichtig, an dem Training regelmäßig teilzunehmen.

Nach der Trainingsphase wird die komplette Untersuchung wiederholt. Nach der Auswertung der Daten werden allen Probanden in einer gemeinsamen Abschlußveranstaltung (vermutlich im Herbst 2009) die Studienergebnisse mitgeteilt.

### **Vielen Dank für Ihre Mühe!**

Bei Rückfragen wenden Sie sich bitte an:  
Frau Brita Rietdorf oder Dr. Patrick Gajewski  
Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund  
Ardeystr. 67  
D-44139 Dortmund  
Tel.: 0049-231-1084 -212 oder -291  
Email: [rietdorf@ifado.de](mailto:rietdorf@ifado.de) oder [gajewski@ifado.de](mailto:gajewski@ifado.de)

## Einverständniserklärung

Im Rahmen einer Studie zur Erfassung und Untersuchung der Hirnaktivität soll während der Bearbeitung von Aufgaben am Bildschirm das EEG abgeleitet werden.

Die Details dieser Studie wurden mir erklärt, und meine Fragen sind zu meiner Zufriedenheit beantwortet worden. Ich bin sicher, dass ich bezüglich meiner Teilnahme an der Studie alles verstanden habe.

Ich weiß, dass ich meine Teilnahme an dieser Studie jederzeit ohne Angaben von Gründen und ohne, dass mir dadurch Nachteile entstehen, widerrufen kann.

Ich,

.....  
(Name)

(Vorname)

(Geburtsdatum)

erkläre hiermit mein Einverständnis, an dieser Studie freiwillig teilzunehmen.

**Alle auf meine Person bezogenen identifizierenden und medizinischen Daten werden vertraulich behandelt. Die Weitergabe meiner Daten für statistische Auswertungen erfolgt in jedem Falle anonymisiert und ausschließlich zum wissenschaftlichen Zwecke. Hiermit bin ich einverstanden.**

Eine Kopie dieser Einwilligungserklärung und des Merkblattes habe ich erhalten.

Dortmund, den.....

Unterschrift.....

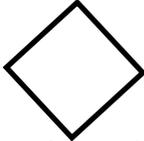
Gegenzeichnung

Dortmund, den.....

Unterschrift.....

## Instruktionen

### Einfacher Block Wortbedeutung (Block 1)

Auf dem Bildschirm erscheint eine **Raute** , was bedeutet, dass Sie bei dem anschließend gezeigten Wort auf die **Wortbedeutung** achten und die Wortfarbe ignorieren sollten.

Drücken Sie dazu:

rot

gelb

grün

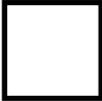
blau

Wenn Sie richtig gedrückt haben, erscheint ein +

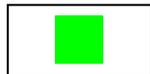
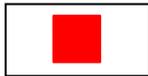
Wenn Sie falsch gedrückt haben, erscheint ein -

Sollte Ihre Reaktion zu langsam sein, erscheint zusätzlich „**schneller**“.

## Einfacher Block Farbe (Block 2)

Auf dem Bildschirm erscheint ein **Quadrat** ,  
was bedeutet, dass Sie bei dem anschließend gezeigten Wort auf die **Farbe**  
achten und die Bedeutung ignorieren sollten.

Drücken Sie dazu:



Wenn Sie richtig gedrückt haben, erscheint ein +

Wenn Sie falsch gedrückt haben, erscheint ein -

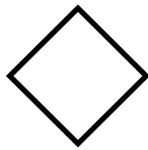
Sollte Ihre Reaktion zu langsam sein, erscheint zusätzlich „**schneller**“.

### Gemischter Block (Block 3)

In diesem Block wechseln die Rauten und Quadrate in einer zufälligen Abfolge.

Wenn das Wort in einer **Raute** erscheint, achten Sie bitte wie gehabt auf seine **Bedeutung**. Bei einem **Quadrat** achten Sie bitte auf seine **Farbe**. Versuchen Sie sich auf die nächste Aufgabe einzustellen, sobald Quadrat oder Raute erscheinen.

Drücken Sie bei



rot

gelb

grün

blau

Drücken Sie bei



Wenn Sie richtig gedrückt haben, erscheint ein +

Wenn Sie falsch gedrückt haben, erscheint ein -

Sollte Ihre Reaktion zu langsam sein, erscheint zusätzlich „**schneller**“.

## Erläuterung der in der kognitiven Trainingsgruppe verwendeten Programme und Übungen

1. **Gedächtnisstrategien**
2. **MAT (Mentales Aktivierungstraining)**
3. **Denksport für Ältere, Buch von Karl Josef Klauer**
4. **Sudoku**
5. **peds Braintrainer**
6. **mentaga GYM**
7. **Mental Aktiv**

### 1. Gedächtnisstrategien

#### I. Die Loci-Methode

Dies ist eine bekannte und verbreitete mnemotechnische Assoziationstechnik. In der Loci-Technik wird für jeden Begriff ein eigener Platz reserviert. Es werden Variablen geschaffen, die mit verschiedenen Inhalten belegt werden können. Diese liegen in einer übergeordneten, fixen Struktur, so dass es möglich wird, bei der Wiedergabe die genaue Reihenfolge einzuhalten. Diese Struktur kann ein wohlbekannter Weg sein oder ein Raum. Die zu merkenden Begriffe sollten möglichst in Form lebendiger Bilder abgelegt und mit einem Assoziationsbild verknüpft werden.

Wichtig ist, dass die Strecke wiederholt bzw. auswendig gelernt werden muss, bis man das Thema beherrscht. Dann reicht es aus, den Weg gedanklich aufzurufen und man erinnert sich besser an das Gelernte.

#### II. Zahlen-Bilder-System

Hier werden die zu merkenden Begriffe/Inhalte einem Bild und einer Zahl der Reihe nach zugeordnet. Ungewöhnliche Assoziationen werden entwickelt und mit dem Begriff verknüpft. Durch das Abrufen der Zahlen/Bilder kann das Gelernte in der richtigen Reihenfolge besser wiedergegeben werden.

### 2. MAT (Mentales Aktivierungstraining)

Gesellschaft für Gehirntraining e.V.

Postfach 1420

85555 Ebersberg

[www.gfg-online.de](http://www.gfg-online.de)

Das MAT wird beschrieben als Methode zur optimalen Aktivierung der geistigen Leistungsfähigkeit. Die Übungen werden überwiegend mit Papier und Stift durchgeführt. Beispiele für Aufgaben sind u.a. Wörter aus Wortlisten erkennen, Anzahl von Dreiecken aus einer geometrischen Figur erkennen oder Begriffe/Bilder einprägen und diese wiedergeben.

Das Training zielt immer darauf ab, 1. Die Arbeitsgeschwindigkeit (Schnelligkeit, etwas zu erkennen und darauf zu reagieren) und 2. Die Merkspanne (etwas kurz geistig gegenwärtig halten) zu trainieren. Hier geht es also um die Fokussierung der Aufmerksamkeit auf relevante Informationen und Prozesse und die Inhibition von nicht irrelevanten Informationen sowie um die Aktualisierung und Aufrechterhaltung von Inhalten des Arbeitsgedächtnisses.

Wichtig für ein erfolgreiches Training ist, dass die Anweisungen zur Durchführung eingehalten werden. Es wird mit einfachen Übungen begonnen, damit die Teilnehmer schnell Erfolge erzielen können. Der Schwierigkeitsgrad wird nach und nach erhöht, indem zum einen die Aufgabenstellung anspruchsvoller und zum anderen die Aufgabenbearbeitung zeitlich begrenzt wird. Das Training besteht aus folgenden Modulen:

### **I. Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit**

Zeitraum, der benötigt wird, um Informationen oder Reize aus der Umwelt über die Sinnesorgane wahrzunehmen, im Kurzspeicher zu bearbeiten und darauf zu reagieren. Folgende Übungen werden in diesem Modul eingesetzt:

- visuelle Suche mit zeitlicher Begrenzung. Dabei werden unterschiedliche Formen, Zahlen- oder Buchstabenanordnungen verwendet
- Erkennen einzelner Wörter in wahllos zusammengesetzten Buchstabenreihen. Die versteckten Wörter sind vorwärts, rückwärts, senkrecht, waagrecht oder diagonal angeordnet.

### **II. Merkspanne**

Sie beschreibt die Zeitspanne in der uns eine Information unmittelbar und bewusst zur Verfügung steht. Folgende Übungen werden in diesem Modul eingesetzt:

- Merken von mehreren Zahlen, Wörtern, Bildern, direkt im Anschluss Wiedergabe oder Entdecken von fehlenden Begriffen

### **III. Basis-Lern-Geschwindigkeit**

Sie beschreibt die Menge an Informationen, die in einer Zeiteinheit gespeichert und wieder abgerufen werden können, nachdem sie nicht mehr gegenwärtig – also nicht mehr im Kurzspeicher – vorhanden sind. Folgende Übungen gibt es in diesem Modul:

- Einprägen von Gesichtern und Personendaten
- Einprägen mit Ablenkungsreizen

## **3. Denksport für Ältere, Buch von Karl Josef Klauer**

Denksport für Ältere - Geistig fit bleiben

2. Überarbeitete Auflage, 134 Seiten

Verlag Hans Huber (Bern), 2008

ISBN 978-3-456-84553-1

Das Buch besteht aus verschiedenen Übungen mit Papier und Stift. Es beinhaltet insgesamt 121 Aufgaben, welche sich in vier Bereiche untergliedern lassen.

Die meisten Aufgaben stammen aus dem Bereich induktives Denken, welcher wiederum in sechs Aufgabenklassen unterteilt ist: Generalisierung, Diskrimination, Kreuzklassifikation, Beziehungserfassung und –unterscheidung sowie Systembildung.

Daneben werden Aufgaben zum deduktiven Denken, Gedächtnisaufgaben und Konzentrationsaufgaben angeboten. In den Aufgaben wird versucht, einen Bezug zu realen Lebenssituationen herzustellen (Arztpraxis, Einkaufen, Reisen etc.).

#### **4. Sudoku**

Übungen mit Papier und Stift mit unterschiedlichem Schwierigkeitsgrad von leicht, mittel bis schwer. Das Sudoku ist ein Logikrätsel mit dem Ziel, ein 9×9-Gitter mit den Ziffern 1 bis 9 so zu füllen, dass jede Ziffer in jeder Spalte, in jeder Zeile und in jedem Block (3×3-Unterquadrat) genau einmal vorkommt. Ausgangspunkt ist ein Gitter, in dem bereits mehrere Ziffern vorgegeben sind.

Trainiert werden die visuell-räumliche Aufmerksamkeit und Suche sowie das mathematische logische Denken.

#### **5. peds Braintrainer**

ahano.de

Christoph Vogt

Lorenz-Huber-Str. 4

85540 Haar

[www.ahano.de](http://www.ahano.de)

Das computergestützte Programm „peds – Gehirntainer“ beinhaltet verschiedene Übungen in jeweils drei Schwierigkeitsstufen. Die folgenden Übungen wurden im Training verwendet:

- **Zweifach**

Mit der einen Hand soll die Maus so betätigt werden, dass der gelbe Ball ins mittlere rote Feld kommt. Mit der anderen Hand tippt man so schnell wie möglich die angegebenen Wörter ab. Diese Übung trainiert die Aufmerksamkeit im peripheren Gesichtsfeld und die Koordination von mehreren Operationen gleichzeitig.

- **Euromünzen**

In einer Geldbörse sind viele verschiedene Münzen. Die Aufgabe besteht darin, den richtigen Betrag zusammenzusetzen. Dies soll so oft wie möglich innerhalb

der vorgegebenen Zeit geschehen. Hierbei wird die Wahrnehmung, Fokussierung der Aufmerksamkeit und das Kopfrechnen trainiert.

- Reaktion

Heißluftballone schweben am Flugzeugfenster vorbei. Die Aufgabe besteht darin, so schnell wie möglich den gesuchten Ballon, der auf der linken Seite angezeigt wird, zu anklicken. Diese Übung trainiert die Wahrnehmung, Fokussierung auf relevante Inhalte und Inhibition.

- Ertasten

Hinter dem großen Bild versteckt sich eine der 5 angebotenen Formen. Die Aufgabe ist es, die Form mit der Maus zu ertasten. Immer wenn ein Licht grün aufleuchtet, verbirgt sich etwas dahinter. Man muss auf das Richtige der angegebenen 5 Bilder klicken – man kann nur einmal auswählen. Hierbei wird die Wahrnehmung und das visuell-räumliche Gedächtnis geschult.

- Doppelte Worte

In der Wortsammlung kommt ein Wort genau zweimal vor. Die Aufgabe ist es, das richtige Wort anzuklicken. Man hat pro Runde 5-mal die Chance, das jeweils richtige Wort zu finden. Diese Übung schult das Gedächtnis und eine gute Merkstrategie.

- Schimpansentest

Auf 9 Feldern befinden sich einzelne Zahlen für kurze Zeit. Sind diese verschwunden, soll man dann auf die Felder in aufsteigender Reihenfolge klicken, auf denen die jeweiligen Zahlen zu sehen waren. Hierbei werden die visuelle Wahrnehmung, das Kurzzeitgedächtnis und visuell-räumliche Gedächtnis trainiert.

- Farben

Es wird ein Bild präsentiert. Die Aufgabe ist es, sich die Farben des Bildes einzuprägen. Dann muss das Bild „nachgemalt“ werden, indem man auf den „Farbtopf“ klickt und dann auf die richtige Bildfläche. Es gibt einen Punkt pro richtige Farbe. Hierbei werden die visuelle Wahrnehmung, das Kurzzeitgedächtnis und visuell-räumliche Gedächtnis trainiert.

## 6. mentaga GYM

cut-e GmbH  
Neuer Wall 40  
20354 Hamburg  
[www.mentaga.com](http://www.mentaga.com)

Die aus „mentaga GYM“ ausgewählten Übungen sind computerbasierte Trainingseinheiten, die darauf abzielen, verschiedene Bereiche der mentalen Fitness zu trainieren. Durch die einzelnen Übungen, die maximal fünf Minuten Zeit in Anspruch nehmen, sollen Fähigkeiten aus den Bereichen räumlich-visuelle Aufmerksamkeit, Arbeitsgedächtnis, Objekterkennung, Konzentration, Mehrfachaufgaben und visuelle Suche trainiert werden. Der spielerische Charakter der Übungen soll die Teilnehmer zum täglichen Training motivieren, wobei der Schwierigkeitsgrad der Übungen immer an die persönlichen Fähigkeiten eines Teilnehmers angepasst wird.

Im Folgenden wird eine kurze Beschreibung der einzelnen in der Studie verwendeten Teilübungen gegeben.

- **Figuratives Denken**

In jedem Durchgang werden zwei, annähernd identische Bilder präsentiert. Es bestehen immer genau drei Unterschiede zwischen den Bildern, die der Teilnehmer so schnell wie möglich entdecken muss. Durch diese Übung soll das figurative Denken geschult werden.

- **Kapazität**

Die Aufgabe besteht darin, senkrecht herabfallende Bälle so schnell und so gut wie möglich mit einem Korb zu fangen. Um den Korb in die richtige Position zu bewegen, muss der Teilnehmer die Computermaus benutzen. Zeitgleich müssen so viele numerische und alphabetische Aufgaben wie möglich gelöst werden. Durch diese Übungen sollen Fähigkeit in den Bereichen räumlich-visueller Aufmerksamkeit, Arithmetik, Konzentration und Mehrfachaufgaben verbessert werden.

- **Konzentration**

In jedem Durchgang wird dem Teilnehmer ein „E“ präsentiert, das von einer bestimmten Anzahl an Punkten umgeben ist. Die Aufgabe besteht darin, so schnell wie möglich jedes E zu identifizieren, das von exakt drei Punkten umgeben ist. Diese Aufgabe trainiert Konzentration und visuelle Aufmerksamkeit.

- **Musterübereinstimmung**

In jedem Durchgang werden vier Bilder gezeigt. Eines dieser Bilder stellt das Original dar, zwei Bilder entsprechen rotierten Versionen des Originals und eines unterscheidet sich von den restlichen dreien. Die Aufgabe besteht darin, das abweichende Bild per Mausklick zu identifizieren. Hierbei sollen die Fähigkeiten zur mentalen Rotation und visuellen Suche trainiert werden.

- **Personengedächtnis**

Diese Aufgabe zielt darauf ab, Gesichter und Namen zu memorieren und wiederzuerkennen. In einem ersten Schritt wird eine Sequenz von Gesichtern und Na-

men präsentiert, wobei die Teilnehmer die Aufgabe haben, sich die Namen zu merken. In einem zweiten Schritt werden Gesichter zusammen mit verschiedenen Namen gezeigt. Die Aufgabe besteht darin, zu entscheiden, welcher Name zu einem bestimmten Gesicht gehört, wobei Objekterkennung trainiert wird.

- **Visueller Scharfsinn**

In jedem Durchgang werden zwei Bilder gezeigt. Der Teilnehmer muss so schnell wie möglich entscheiden, ob die beiden Bilder identisch sind. Bei dieser Aufgabe wird die Fähigkeit zur visuellen Suche trainiert.

- **Reaktionsvermögen**

Zwei Objekte werden nebeneinander gezeigt. Der Teilnehmer hat zu entscheiden, ob die beiden Objekte identisch sind. Im Falle einer Übereinstimmung soll er dies durch einen Mausklick anzeigen. Diese Aufgabe soll visuelle Suche und Reaktionsvermögen schulen.

- **Zahlengedächtnis**

Der Teilnehmer memoriert und reproduziert Zahlen, die auf dem Bildschirm präsentiert werden. Die Länge der Zahlen wird den Memorierungsfähigkeiten des jeweiligen Teilnehmers angepasst. Je mehr Ziffern eine Zahl umfasst, desto länger ist das für das Memorierung und Reproduzieren zur Verfügung gestellte Zeitintervall. In erster Linie zielt diese Übung darauf ab, das Zahlengedächtnis zu trainieren, aber auch Arbeitsgedächtnisfähigkeiten im Allgemeinen werden verbessert.

## **7. Mental Aktiv**

Dr. Willmar Schwabe GmbH & Co. KG

Willmar-Schwabe-Straße 4

76227 Karlsruhe

[www.mental-aktiv.de](http://www.mental-aktiv.de)

Die einzelnen Übungen aus dem Mental - Aktiv Programm sind mit Papier und Stift zu bearbeiten und stellen Anforderungen an verschiedene Aspekte der menschlichen Kognition. Vor allen Dingen Konzentration, Verarbeitungsgeschwindigkeit, Aufmerksamkeit und Gedächtnis, aber auch Kreativität, geistige Beweglichkeit und Ausdauer sollen mit Hilfe der Aufgaben trainiert werden. Ebenso wie die angesprochenen psychologischen Konstrukte sind auch die einzelnen Aufgabentypen nicht ganz trennscharf voneinander abzugrenzen und beanspruchen zumeist verschiedene kognitive Funktionen.

## I. Konzentration

Die Aufgaben aus diesem Bereich erfordern eine mit Anstrengung verbundene willentliche Fokussierung der Aufmerksamkeit auf eine bestimmte Tätigkeit und die Unterdrückung des Einflusses durch Ablenkreize. Hierbei ist es wichtig, dass die Teilnehmer die Aufgaben stets möglichst schnell und möglichst akkurat lösen. Beispiele für Übungen aus zur Konzentration aus dem Mental Aktiv-Programm sind zum Beispiel:

- Spiegelbilder suchen

Acht vorgegebene Bilder mit Ziffern werden auf der linken Seite präsentiert und auf der rechten Seite mit Buchstaben versehen gespiegelt dargestellt. Die Anordnung der Bilder ist vertauscht. Schreiben Sie zu jeder Ziffer den Buchstaben vom richtigen Spiegelbild.

- Verschwundene Rechenzeichen

Hier sind einfache Rechenaufgaben zu lösen, bei denen jedoch keine Rechenzeichen angezeigt werden. Die Teilnehmer sollen die fehlenden Plus- oder Minuszeichen so ergänzen, dass das Rechenergebnis am Ende der Zeile korrekt ist.

- Buchstabensuche

Die Teilnehmer sollen jede Zeile aufmerksam absuchen. Immer wenn sie ein Zeichen entdecken, das einem vorgegebenen entspricht, sind sie aufgefordert, dieses möglichst rasch zu unterstreichen.

## II. Schnelligkeit

Die Geschwindigkeit, mit der Informationen im Gehirn verarbeitet werden, ist eine wichtige Größe der Kognition. Von ihr ist abhängig, wie schnell Wahrnehmung, Interpretation und Reaktion erfolgen können. Teilübungen des Mental Aktiv-Programms, die auf das Training der Verarbeitungsgeschwindigkeit abzielen, sind beispielsweise die folgenden:

- Wortkastenvergleich

Die Teilnehmer sind aufgefordert, zwei Begriffsgruppen („Wortkästen“) mit einander zu vergleichen. Die Begriffe aus beiden Gruppen stimmen überein, wobei die erste Gruppe noch zwei weitere Begriffe umfasst. Die Aufgabe besteht darin, diese beiden Begriffe zu entdecken.

- Sterntaler zählen

Aufgabe ist es, so schnell wie möglich die Gesamtzahl der Zacken von mehreren verschiedenartig geformten Sternen festzustellen.

- Suche im Buchstabenfeld

Es wird ein Buchstabenfeld mit 48 Elementen präsentiert. Aufgabe der Teilnehmer ist es, drei senkrecht und/oder waagrecht geschriebene Begriffe (Pflanzennamen) zu entdecken.

### III. Gedächtnis

Als eine der wichtigsten kognitiven Funktionen lässt insbesondere das Gedächtnis in seiner Leistung im höheren Alter oft bedeutsam nach. Doch auch die Gedächtnisleistung kann durch gezieltes kognitives Training aufrechterhalten bzw. verbessert werden. Einige Beispiele aus dem Mental Aktiv – Programms sind die folgenden Übungen:

- Muster einprägen und nachzeichnen

Es wird ein Gitter gezeigt, das aus neun Teilfeldern besteht, von denen einige einfache geometrische Figuren (bspw. Dreiecke, Kreise, Rechtecke) enthalten. Die Aufgabe der Teilnehmer besteht darin, sich das präsentierte Gitter etwa eine Minute lang einzuprägen, um dieses dann abzudecken und zu replizieren. Dabei müssen die Figuren den korrekten Positionen zugeordnet werden.

- Fehlersuche

Die Teilnehmer sind aufgefordert, zwei untereinanderstehende alphanumerische Reihen, die weitestgehend identisch sind, auf Unterschiede hin zu untersuchen. Immer wenn sie einen Unterschied feststellen können, soll dieser gekennzeichnet werden.

- Doppelgänger gesucht

In zwei übereinander dargestellten Boxen sind identische Objekte dargestellt. Nur ein Objekt der oberen Rubrik hat keinen Doppelgänger in der unteren. Dieses Objekt soll erkannt werden.

### IV. Kreativität

Unter anderem auf Grund ihrer großen Nähe zur Intelligenz, gilt Kreativität als schwerabgrenzbares Konstrukt. In der Regel werden jedoch Problemlösefähigkeiten und das bilden ungewöhnlicher Assoziationen unter Kreativität gefasst. Als Teilkomponente fluider Intelligenz lässt sie mit zunehmendem Alter häufig nach. Übungen aus dem Mental Aktiv – Programm wären beispielsweise:

- Anagramme

Es werden kurze, zu meist aus vier oder fünf Buchstaben bestehende Begriffe vorgegeben (bspw. „Mahl“), aus denen jeweils andere Begriffe (bspw. „Halm“) gebildet werden sollen. Dabei muss jeder Buchstabe des ursprünglichen Wortes genau einmal verwendet werden.

- Wortsalat

Es sind verschiedene Pflanzennamen angegeben (z.B. „Knabenkraut“), deren Wortfragmente (z.B. „KN“) in unsortierter Reihenfolge in einer darunter stehenden Liste aufgeführt sind. Die Teilnehmer haben die Aufgabe, alle Fragmente den entsprechenden Namen zuzuordnen.

- Treppenwörter

Es werden vier Stufen mit je zwei Buchstaben gezeigt. Die Aufgabe ist es, die Stufen von unten nach oben zu untersuchen und auf jeder Stufe den korrekten Buchstaben zu finden, der zur Bildung eines sinnvollen Wortes beiträgt.

## **V. Geistige Beweglichkeit**

Unter diesem Begriff ist eine erfolgreiche kognitive Anpassung an eine sich rasch ändernde Umwelt zu verstehen. Das Mental Aktiv – Programm verspricht mit gezielten Übungen die geistige Beweglichkeit oder mentale Flexibilität seiner Teilnehmer zu erhöhen.

- Wortfindung

Hierbei werden den Teilnehmern verschiedene Objekte (bspw. Kuh, Schlüssel) präsentiert, die einer Liste aus teilweise semantisch verwandten Begriffen (bspw. Stall, Loch, Blume) sinnvoll zugeordnet werden sollen.

- Vierecksuche

Es wird eine Anordnung aus transparenten verschachtelten Vierecken präsentiert. Aus der Überlagerung der Figuren entstehen weitere Vierecke. Die Teilnehmer sollen die Anzahl an Vierecken zunächst spontan schätzen und in einem zweiten Schritt versuchen abzuzählen.

## **VI. Ausdauer**

Länger andauernde geistige Arbeit kann als zunehmend anstrengend erlebt werden und führt zum Teil sogar zu Überforderung. Geistige Ausdauer ist von großer Bedeutung, um größere Aufgaben erfolgreich lösen zu können. Übungen aus dem Mental Aktiv – Programm zur Stärkung der Ausdauer sind beispielsweise die folgenden:

- Wortbrücken

Es werden in jedem Durchgang zwei Begriffe vorgegeben (z.B. Kokos und Kuh), die mit einem zu suchenden Begriff (z.B. Milch), dessen erster Buchstabe jeweils vorgegeben ist, ergänzt werden sollen. Dieser Begriff soll semantische Nähe zu beiden vorgegebenen Wörtern besitzen und diese sinnvoll verbinden.

- Hier darf gedacht werden

Es sollen möglichst viele Begriffe gefunden werden, die ein bestimmtes Buchstabenmuster, beispielsweise „...acht...“, enthalten (mögliche Lösungen: Macht, Pacht, Schachtunier).

## **VII. Aufmerksamkeit**

Neben den verschiedenen Konzepten von Aufmerksamkeit, wie beispielsweise selektiver Aufmerksamkeit oder geteilter Aufmerksamkeit, wird in diesem Zusammenhang ein hohes Maß an allgemeiner Wachheit unter Aufmerksamkeit verstanden, die erforderlich ist, um geistige Hochleistung zu erbringen. Übungen zur Stärkung der Aufmerksamkeit sind zum Beispiel:

- Zahlenspurt / Zahlenverbinden rückwärts

Die Zahlen von 1 bis 27 sind ungeordnet, in verschiedenen Größen und in unterschiedlicher Formatierung in einem Gitter dargestellt und werden von verschiedenen Ablenkreizen umgeben. Die Aufgabe besteht darin, die einzelnen Zahlen in aufsteigender oder absteigender Reihenfolge zu entdecken und kenntlich zu machen.

- Gespiegelte Wörter suchen

## Danksagung

Die Fertigstellung dieser Arbeit wäre nicht ohne die Hilfestellung vieler lieber Menschen möglich gewesen, denen ich an dieser Stelle danken möchte.

Den aktuellen und ehemaligen Kolleginnen und Kollegen der Projektgruppe „Altern, Kognition und Arbeit“ des Leibniz-Instituts für Arbeitsforschung an der TU Dortmund möchte ich für die Unterstützung jedweder Art und die gute Atmosphäre herzlich danken. In randomisierter Reihenfolge sind dies Ludger Blanke, Christiane Westedt, Dr. Rita Willemsen, Silke Joiko, Dr. Sebastian Poschadel, Dr. Melanie Hahn, Trung-Tin Pham, Michele Tabbi, Peter Dillmann, Brita Rietdorf und Prof. Dr. Nele Wild-Wall. Mein Dank gilt außerdem allen Hiwis, die an der Studie mitgearbeitet haben.

Ein besonderer Dank geht an Prof. Dr. Michael Falkenstein für die Überlassung des Themas und die Übernahme der Betreuung, sowie für die Möglichkeit, in den vergangenen Jahren trotz meiner zeitlichen Einschränkungen in der Projektgruppe arbeiten zu können.

PD Dr. Stephan Getzmann möchte ich für die Übernahme des Zweitgutachtens danken, vor allem aber für die vielen wertvollen Ratschläge und Anregungen, die mich auf den richtigen Kurs gebracht haben.

Für die Leitung der Studie möchte ich mich bei Dr. Patrick Gajewski bedanken, außerdem für das kritische Lesen der Arbeit und die vielen konstruktiven Hinweise und hilfreichen Gespräche.

Ein großes Dankeschön gilt auch meiner Familie, die es mir ermöglicht hat, meinen Weg zu gehen und mich immer dabei unterstützt hat. Vielen Dank meinem Partner Philip Frieg, meinen Eltern Renate und Ferdinand Wipking und meinen beiden Schwestern Simone und Anika Wipking.